Was ist Elektrizität?

Was ist Elektrizität?

Erzählungen eines Elektrons

von

Charles R. Gibson

Autorisierte deutsche Bearbeitung

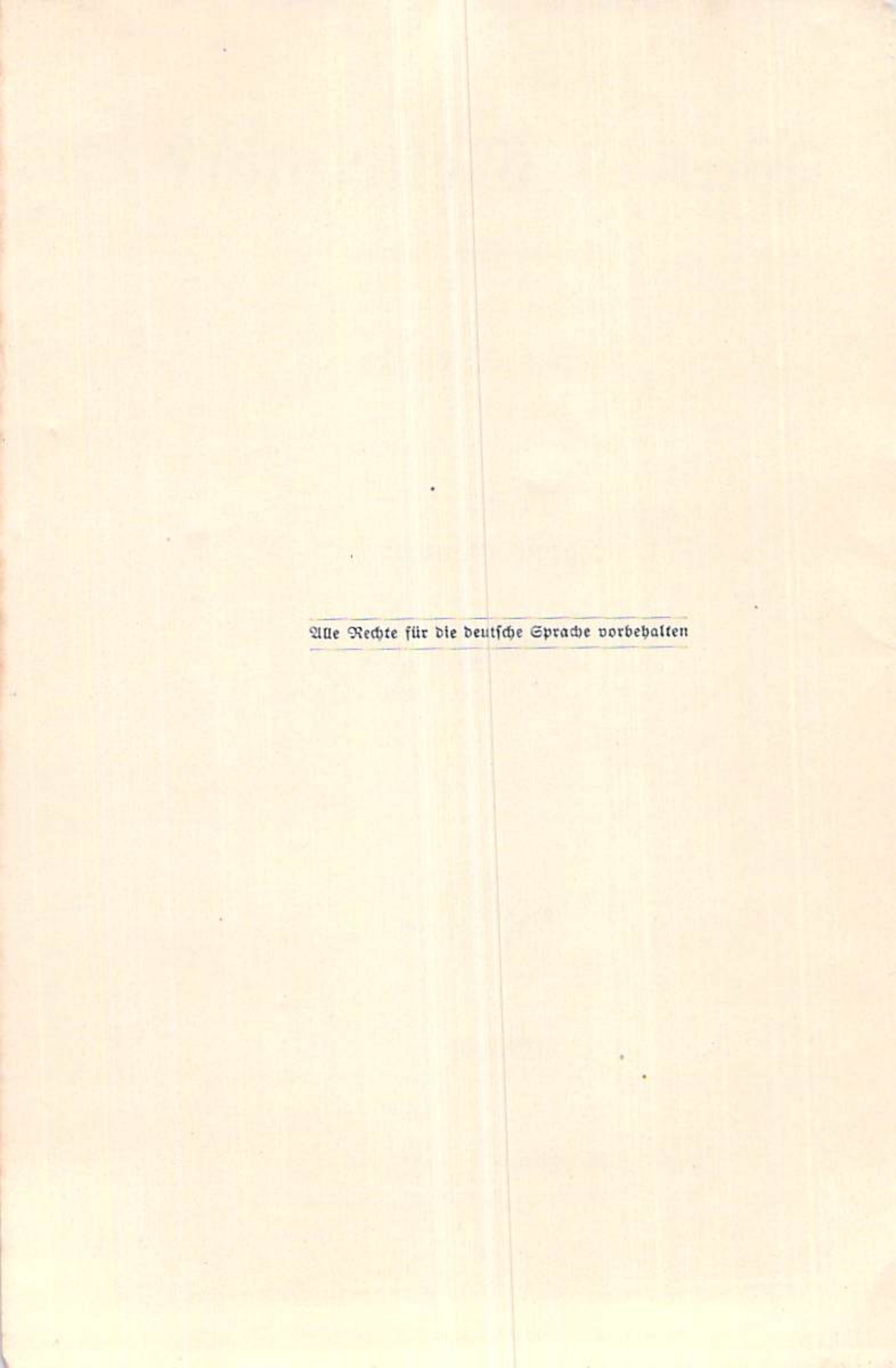
von

Hanns Günther

Mit einem farbigen Titelblatt von W. Planck
und zahlreichen Zeichnungen von C. Schmauck



Kosmos-Gesellschaft der Naturfreunde
Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart



Vorwort.

Ich möchte hier die große Gemeinde der Wissensdurstigen deutscher Zunge mit einem Buche bekannt machen, das diese Bekanntschaft meines Erachtens lohnt, mit Ch. R. Gibsons „Autobiography of an electron". Das Buch bringt eine einfache, schmucklose Darstellung unserer heutigen Ansicht vom Wesen der Elektrizität, des Magnetismus und des Lichtes, wie wir sie unter dem knappen Begriff der Elektronentheorie zusammenfassen. Wir erhalten durch diese Theorie, die die Wissenschaft schon seit langen Jahren kennt, die aber ihren Weg in die elementaren Lehrbücher der Physik und in Laienkreise noch nicht gefunden hat, zum erstenmal einen Überblick über die elektrischen, magnetischen und optischen Erscheinungen, der mehr ist als eine Beschreibung, denn wir bekommen zugleich einen Einblick in die Natur der Vorgänge, die diesen Erscheinungen zugrunde liegen. Wir wissen jetzt, daß die Elektrizität — grob ausgedrückt — eine Art leichtes, feines Gas ist, das aus Elektronen besteht aus unendlich kleinen, räumlich getrennten Teilchen, die nicht weiter teilbar sind und die sich zur Elektrizität etwa so verhalten wie die Atome zur Materie. Diese Elementarteilchen der Elektrizität müssen wir uns aber viel kleiner denken als die Atome. Ein Beispiel mag uns zeigen, wie winzig klein. Man hört heute viel von den Bakterien, diesen niederen Lebewesen, die wir vielfach nur mit Hilfe unserer allerschärfsten Mikroskope eben noch erkennen können. Jedes Bakterium besteht aus Millionen von Atomen, und jedes Atom wieder ist ein Riese, wenn man ein Elektron damit vergleicht. Man nimmt an, daß die träge Masse eines Elektrons $^1/_{2000}$ von der eines Wasserstoffatoms, des kleinsten aller bekannten Atome, beträgt. Wie winzig solch ein Wasserstoffatom ist, kann man am besten aus einer vergleichenden Berechnung erkennen. Denkt man sich auf der einen Seite einer Wage einen Kubikzentimeter Wasser, also so viel, wie etwa in einen halben Fingerhut hineingeht, so muß man auf die andere Seite dieser Wage eine Quadrillion oder 1 000 000 000 000 000 000 Wasserstoffatome legen, damit Gleichgewicht herrscht.

Daß die Elektronen wirklich materielle (stoffliche) Teilchen sind, hat sich durch eingehende Untersuchungen einwandfrei ergeben. Sie zeigen alle Eigenschaften, die wir der Materie zuschreiben, und die einfache Folgerung ist, daß sie, weil sie diese Eigenschaften haben, auch Materie sind. Alle Klügeleien ändern nichts daran, daß die Elektronen greifbar sind — denn man kann sie in Glasröhren auffangen —, daß sie sich bewegen und dabei eine bestimmte meßbare Trägheit zeigen. Wir dürfen aber daraus, daß wir die Elektronen als Materie betrachten müssen, nicht etwa schließen, daß wir hier ein neues chemisches Element vor uns haben. Dagegen spricht, daß sich die Elektronen aus den allerverschiedensten chemischen Elementen abspalten lassen, und daß man keinen zusammenhängenden Körper nur aus Elektronen aufbauen kann. Die Elektronen sind nämlich — das ist ihre Wesenseigenheit, die sie auf eine ganz besondere Stufe stellt — stets mit einer negativen elektrischen Ladung behaftet, und wir kennen kein Mittel, diese negative Ladung von ihnen zu trennen. Mehr noch: es scheint fast sicher zu sein, daß die negative Ladung von ihnen nicht getrennt werden kann. Bringt man also nur Elektronen zueinander, so werden die starken elektrischen Kräfte, die ihnen eigen sind, d. h. eben die negativen Ladungen, sie immer voneinander wegstoßen, so daß nie ein zusammenhängendes Gebilde entstehen kann. Nur mit und in den chemischen Atomen, deren Masse vermutlich als positive Ladung die Elektronenladung neutralisiert (oder in denen vielleicht auch eine uns noch unbekannte positive Ladung neutralisierend wirkt), können sie an dem Aufbau der sichtbaren Materie teilnehmen. Um diesen universellen Charakter dieser winzigen Teilchen und zugleich ihre Wesenseigentümlichkeit, die unverlierbare elektrische Ladung, scharf hervorzuheben, hat man sie eben Elektronen genannt. Auf die Bewegung und Verteilung dieser Elektronen führt die neue Theorie nun alle elektrischen, magnetischen und optischen Erscheinungen zurück. „Wir können das Elektron," so sagt E. Fournier d'Albe, einer der bekanntesten britischen Physiker unserer Zeit, „als den Ausgangspunkt der Kräfte ansehen, die wir bei den uralten Erscheinungen am Holundermarkkügelchen, am Goldblättchen und dem geriebenen Glasstabe beobachten. Wir sehen es in schneller Bewegung in der Vakuumröhre, in langsamer im stromführenden Draht; wir stehen nicht mehr vor einem unergründlichen Geheimnis wie früher. Wir beobachten sein Hin- und Hereilen beim Wechselstrom und können die Wellen verfolgen, die es bei der drahtlosen Telegraphie dem Empfänger zusendet.

Wir sehen es bei seiner Kreisbewegung um das Atom, an dem es haftet, und die magnetischen Erscheinungen werden uns plötzlich klar. Wir beobachten, wie es mit dem Atom im Elektrolyten wandert und bekommen so einen Einblick in die Geheimnisse der Chemie, die berufen scheinen, diese ganze unermeßliche Wissenschaft umzugestalten." Doch weiter noch dehnt das Elektron seine Kreise. „Es spielt eine Rolle bei der Umwandlung der Elemente, beim Aufbau und der Zerstörung der Materie, bei der Erklärung der Trägheit, und es bildet die Grundlage einer elektrischen Theorie der Mechanik." Seltsamerweise tritt die neue Theorie den älteren Lehren nicht schroff und feindlich gegenüber. Sie ergänzt sie vielmehr, denn sie bringt allen etwas und nimmt von allen. Franklins Einfluidumtheorie, der älteste Versuch, dem Wesen der Elektrizität nahe zu kommen, hat mit unserer Theorie gemeinsam, daß beide alle elektrischen Erscheinungen auf die Bewegung und Verteilung des elektrischen Fluidums, das als eine Art Gas mit atomartiger Struktur betrachtet wird, zurückführen. Die dem Laien weniger bekannten Theorien von Ampère und Weber werden durch die ihnen bisher fehlenden materiellen Grundlagen ergänzt, und an die Äthertheorie Maxwells knüpft die Elektronentheorie an, indem sie uns sagt, was wir uns von den Enden der Kraftlinien vorzustellen haben, mit denen Maxwell operiert.

Vielleicht ist gerade diese vielseitige Anpassung der Grund für das merkwürdige Schweigen der gelehrten Welt, das die Elektronentheorie empfing, und das man nur als Zustimmung auffassen kann, da sich Gegnerschaft doch in Widerspruch äußert. Niemand kann sich, wie Fournier d'Albe betont, hier der Urheberschaft rühmen. „Das Elektron tropfte sozusagen in eine übersättigte Lösung elektrischer Tatsachen und Spekulationen hinein und bildete so den zur Kristallisation erforderlichen Kondensationskern. Die Moleküle, die elektrischen Tatsachen, kristallisierten sich eine nach der anderen an, und ein Teil der elektrischen Wissenschaft nach dem anderen rückte an seinen Platz." Noch ist der Kristall nicht ganz ausgebildet, denn es sind noch viele Einzelheiten der Theorie aufzuklären, noch manche schwache Stelle ist zu verstärken. Dennoch erscheint es an der Zeit, daß auch die Freunde unserer Wissenschaft die neue Lehre, die an sich gesicherte Grundlagen hat, kennen lernen, weil wir damit endlich dem Begriff „Elektrizität" Wert und Inhalt geben können.

Ch. Gibson, der in seinem Lande berechtigten Ruf als Verfasser wertvoller physikalischer und technischer Werke genießt und der sich bei diesem Buche der Mitarbeit zahlreicher englischer Gelehrter von Ruf erfreute, die die einzelnen Abschnitte durchsahen, läßt ein Elektron selber

die Geschichte dieser Forschungen und die daran geknüpften Theorien entwickeln. Vielleicht wird diese erzählende Form manchem deutschen Leser etwas leicht erscheinen, aber ich mochte sie dennoch nicht opfern, weil sie die Langweile bannt und die Gründlichkeit nicht ausschließt. Auch glaube ich, daß gerade die Kosmosleser, an die sich das Buch ja zuallererst wendet, Kern und Schale zu sondern verstehen, und daß sie den Kern nicht verschmähen, selbst wenn nicht jedem die Schale zusagt.

Im einzelnen gebe ich nicht eine Übersetzung des englischen Originals, sondern eine freie Bearbeitung, da zahlreiche neue Forschungen der letzten Zeit zu berücksichtigen waren, die eine wesentliche Vertiefung gestatteten. Auch mußte ich mich dem verfügbaren Raum anpassen und deshalb eine strenge Auswahl treffen. Dargestellt sind hier nur die Reibungs- und die galvanische Elektrizität, die Grundlagen des Magnetismus und der Lehre von der Entstehung des Lichtes. Nicht berücksichtigt wurden Elektrochemie und Chemie sowie die eng damit zusammenhängende neue Lehre vom Aufbau und Zerfall der Elemente. Diese Fragen werden vielleicht in einer späteren Darstellung behandelt werden. Neu sind in der deutschen Bearbeitung schließlich die zahlreichen Abbildungen, die zum wohl erstenmal bildmäßige Darstellungen in ein physikalisches Werk einführen. Den einzelnen Kapiteln ist jeweils eine knappe Inhaltsangabe vorangestellt, die zugleich die Daten der einzelnen Entdeckungen und die Namen der Entdecker enthält, soweit diese Daten und Namen bekannt sind. Im Text ließen sich diese Dinge bei der gewählten Form naturgemäß nicht bringen. Wer Jahreszahlen u. dgl. nicht liebt, mag diese Angaben ruhig beiseite lassen. Am Verständnis der Erscheinungen wird ihn das nicht hindern, und darauf allein kommt es in der Wissenschaft an.

Was die Art der Darstellung selbst anbetrifft, so bin ich sicher, daß sie von vielen Seiten als tadelnswert angegriffen wird. Der Gedanke, Wissenschaft in einer Art Erzählung vor weitere Kreise zu bringen, ist ja natürlich für viele unerhört, schon weil er neu ist und abseits vom Wege. Aber man hat so häufig und mit so viel Glück (ich erinnere an Laßwitz und Wells) versucht, Erzählungen durch naturwissenschaftliche Dinge interessant zu gestalten, daß ich nicht einsehe, warum nicht auch der umgekehrte Weg gangbar sein soll. Der Erfolg oder Mißerfolg wird mich ja lehren, ob diese Meinung richtig ist, und darauf denke ich jetzt zunächst zu warten.

Zürich, im November 1911. Hanns Günther.

Einleitung.

Ich stand am Fenster meines Arbeitszimmers und schaute hinunter auf das Jagen und Hasten der Millionenstadt. Der riesige Platz vor mir lag leicht in Dämmerung gehüllt, und das Kommen und Gehen der Menschen war nur wie durch einen dünnen Schleier sichtbar. Aber es schien mir, als pulse das Leben dort unten in starken rhythmischen Stößen zu mir herauf. Und das Gedröhn der stampfenden Wagen, das gelle Tuten der Automobile, das Laufen der Menge, das nur wie ein dumpfes immerwährendes Rauschen hörbar ward, waren mir wie ein gigantisches Lied von der Arbeit, die die Erde bezwang. Ich stand und dachte an den Anfang der Dinge hier, dachte daran, wie einst ein armselig Dorf an dieser Stelle gelegen, und dachte an das Werden der Menschheit, das uns immer höher führt. Da zerriß ein jähes Aufblitzen draußen meinen Gedankengang. Der Platz dort unten lag plötzlich in blendende Helle getaucht, und auch in der Ferne flackerten jetzt die Bogenlampen auf. Eine dreizeilige Lichtlinie bohrte sich quer durch die Häuser, schnurgerade, mitten in das Herz der Riesenstadt hinein. Auch die Wagen waren hell geworden. Ununterbrochen sausten sie einer hinter dem anderen auf ihren schmalen eisernen Spuren durch die Lichtflut vor mir, sammelten sich an einer Stelle und glitten dann hinein in die scheinbar finsteren, strahlig mündenden Seitenstraßen, die wie dunkle Tore hinter ihnen zuklappten. Und auch dort drüben wurden jetzt große Scheiben hell. Ein langgestreckter niedriger Bau lag da, dessen riesige rauchende Schornsteine wie kahle, scharfumrissene Stämme gegen den bleiernen Himmel standen. Der Lichtschein, der durch die Fenster drang, pochte in hastigen, regelmäßigen Schlägen. Es waren die Schatten großer sausender Schwungradspeichen, die das Licht erzittern machten, und die Schwungräder wieder trieben riesige Maschinen, die ich nur ganz matt wirbeln sah, von denen ich aber wußte, daß sie den künstlichen Tag ausschickten in die nächtliche Stadt, daß sie erzeugten, was wir heute nicht mehr missen können: Elektrizität und elektrischen Strom!

Elektrizität, elektrischer Strom — meine Träume gingen auch in der Helle weiter, wie vordem in der Dämmerung. Da haben wir uns nun eine Naturkraft dienstbar gemacht und wissen doch im Grunde nicht viel

mehr von ihr, als daß sie da ist und für uns arbeitet. Licht können wir sehen, Wärme fühlen und Schall hören, aber Elektrizität, dafür haben wir keinen Sinn. Wieviel Jahrhunderte haben nicht schon gerätselt, wieviel Forscher sich nicht gemüht, um festen Grund zu bekommen im Meere dieser Erscheinungen, die um uns fluten, uns stets umgeben und uns doch so fremd sind wie kaum etwas sonst auf unserem Erdenstern. Vermutungen hat man genug ausgesprochen, Hypothesen und Theorien kunstvoll gebaut, aber wer will sagen, wo da die Wahrheit ist, wo Irrtum und Trug beginnen?

Ganz dunkel lag das Zimmer, als ich mich wendete und langsam zum Schreibtisch schritt. Ein Druck der Hand, und hell glühte auch bei mir der künstliche Tag durch den stillen Raum. Ein Druck der Hand — und sogleich flammt gehorsam die dünne Faser in der luftleeren Glashülle auf. Warum und weshalb? Wer kann darauf die richtige Antwort geben, die den letzten Grund uns nennt?

Doch horch — sprach da nicht gerade eine Stimme zu mir? Ich sah mich um. Die Tür war geschlossen, der Raum war leer. — Doch jetzt von neuem: „Mensch!" klang es nieder von der Decke, an der die Glühlampe flammte, „Mensch, gib mir Antwort, hörst du mich? Zu dir komme ich, dir Klarheit zu bringen über das, was dich eben bewegte. Mutter Natur, die gütige, große, schickt mich, dir und deinen Brüdern zu erzählen von der geheimnisvollen Kraft der Welten, die ihr Elektrizität nennt und von der ich ein einzig winzig Stäubchen bin, eines der Stäubchen, die eure Forscher Elektronen heißen. Willst du mich hören, Mensch, und aufzeichnen, was ich erzähle?"

Leise verklang die Stimme im Raum. Ich aber saß staunend und lauschend da. War das eines der Wunder, von denen die Märchen sagen? Oder sprach hier wirklich Mutter Natur aus ihren Werken zu mir? Fast willenlos glitt mir die Antwort von den Lippen: „Elektron, sprich weiter, ich will dein Dolmetsch sein."

„Gut, Mensch," so klang es jetzt wieder leise aus der flimmernden Helle dort oben heraus, „so höre und schreibe und merke auf. Nichts wirst du erfahren, was nicht die forschende Menschheit selber schon fand, denn Offenbarungen darf ich dir hier nicht geben. Aber du sollst hören, was Wahrheit ist an dem, was ihr gesucht und gefunden, und deinen Brüdern sollst du sagen, was du erfährst, damit auch die von uns vernehmen, für die wir heute noch unbekannt sind."

I. Kapitel.

Die dummen Menschen.

Die Elektronen wurden — ohne als solche erkannt zu werden — 1879 durch den englischen Physiker W. Crookes in den Kathodenstrahlen entdeckt, nachdem bereits früher W. Hittorf, ein deutscher Gelehrter, fast die gleichen Untersuchungen mit den gleichen Ergebnissen angestellt hatte, ohne jedoch Gehör zu finden. Vorhanden auf Erden waren die Elektronen naturgemäß seit Anfang der Dinge, da ja nichts entdeckt werden kann, was nicht bereits Dasein hat. Sie waren schon bei den allerersten Versuchen über elektrische Anziehung wirksam, die nach den Angaben des Aristoteles Thales von Milet um 590 v. Chr. angestellt haben soll. Über diese ersten Versuche kam man 2000 Jahre lang anscheinend nicht hinaus, denn erst im Anfang des 17. Jahrhunderts n. Chr. finden sich wieder Angaben über ähnliche Experimente. Im Jahre 1600 stellte W. Gilbert, ein englischer Arzt, den Unterschied zwischen dem Magnetismus und der Anziehungskraft des Bernsteins fest, die man bis dahin immer für gleiche Kräfte gehalten hatte. Gilbert untersuchte auch eine Reihe anderer Stoffe darauf hin, ob sie durch Reibung elektrisch wurden, darunter Metalle, deren Leitfähigkeit er erkannte. Im Jahre 1630 führte er den Namen „elektrische Kraft" (Elektrizität) für die Anziehungskraft des Bernsteins ein.

Es gibt Menschen, die erzählen, wir seien erst seit wenigen Jahren auf der Erde. Diese Behauptung ist natürlich recht töricht. Entdeckt wurden wir allerdings erst vor ganz kurzer Zeit, vorhanden waren wir jedoch schon immer. Wir waren da, ehe der Mensch auf die Erde kam, wir treiben unser Spiel, solange die Erde im Raume schwebt.

Über unser äußeres Aussehen ist nicht viel zu sagen. Jedes Elektron gleicht dem andern völlig, und von der großen Verschiedenheit der Menschenkinder ist bei uns nicht das geringste zu merken. Ob das ein Vorteil ist oder ein Nachteil, weiß ich nicht recht, aber ich hätte immer gerne einen eigenen Namen gehabt, wie alle Menschen ihn tragen. Doch solche Namen kennen wir bei uns nicht. Rechten Zweck würden sie ja auch nicht haben, weil wir nicht unterschieden zu werden brauchen. Jedes Elektron tut die gleiche Arbeit wie alle übrigen, und auch da ist also nichts Eigenes. So wird meine Sehnsucht nach einem hübschen Namen wohl immer ungestillt bleiben, aber wer weiß, wozu das wieder gut im Weltenplan ist.

Besondere Eigenschaften, die uns voreinander auszeichnen, haben wir Elektronen auch nicht bekommen. Uns allen gemeinsam ist nur das eine, daß wir uns gegenseitig heftig abstoßen, uns also stets voneinander zu entfernen suchen, während alle anderen Körper sich gegenseitig anziehen. In dieser Wesenseigenheit liegt unser Hauptunterschied von den gewöhnlichen Atomen, mit denen wir so häufig verwechselt werden. Über unser Verhältnis zu den Atomen der Stoffe will ich hier gleich berichten, damit wir uns da ja recht verstehen. Jedes Atom enthält immer eine Anzahl Elektronen, auch dann, wenn es äußerlich nicht elektrisch erscheint. Die elektrische Wirkung nach außen wird nämlich gewöhnlich durch eine Kraft im Atom, die ihr Menschen seltsamerweise „positive Elektrizität" nennt, obwohl sie gar keine Elektrizität ist, gebunden oder ausgeglichen. Verliert ein Atom auf irgendeine Weise ein Elektron oder auch mehrere, so bekommt die positive Kraft die Überhand, und ihr sagt: das Atom ist positiv elektrisch geladen. Tritt der andere Fall ein, daß mehr Elektronen vorhanden sind wie gewöhnlich, so wird naturgemäß die Elektronenladung, die das ist, was ihr Menschen früher „negative Elektrizität" nanntet, und die, wie ihr finden werdet, die eigentliche Elektrizität ist, äußerlich merkbar, und ihr sagt: das Atom ist negativ elektrisch. Ist ein Stoff auf irgendeine Weise mit freien Elektronen überladen worden, so stoßen sich diese heftig untereinander ab und suchen auf Stoffe zu entkommen, deren Atome arm an Elektronen sind. Zwischen elektronenfreien Atomen und Elektronen besteht also eine Anziehung, und das meint der Mensch, wenn er sagt: positive und negative Elektrizität (ungleichnamige Elektrizitäten) ziehen sich an. Daß die Elektronen sich untereinander abstoßen, und daß auch elektronenfreie Atome nichts zueinandertreibt, hat der Mensch schon frühzeitig festgestellt. Diese Erkenntnis liegt dem alten Satze zugrunde: „Gleichnamige Elektrizitäten stoßen einander ab," den ihr wohl alle in der Schule lerntet, ohne daß euch sein Wesen verständlich war. Wir können diese alten Begriffe ruhig auch hier anwenden, aber ihr müßt immer bedenken, daß sie nichts als Bezeichnungen und Bilder sind, die die Wahrheit nur verschleiert enthalten.

Wenn ich nun hier von mir, meinen Kameraden und der Geschichte unserer Entdeckung zu erzählen beginne, so muß ich zunächst der vielen Versuche gedenken, die eure Forscher mit uns anstellten, ohne etwas von unserem Dasein zu ahnen, obwohl wir es ihnen deutlich genug verrieten. Mit Ruhm bedeckt hat sich der Mensch bei der Erklärung dieser Versuche ja zwar nicht, aber er war eben damals in den Forschungsmethoden noch nicht besonders weit vorgeschritten, und seine Instrumente waren noch so mangel-

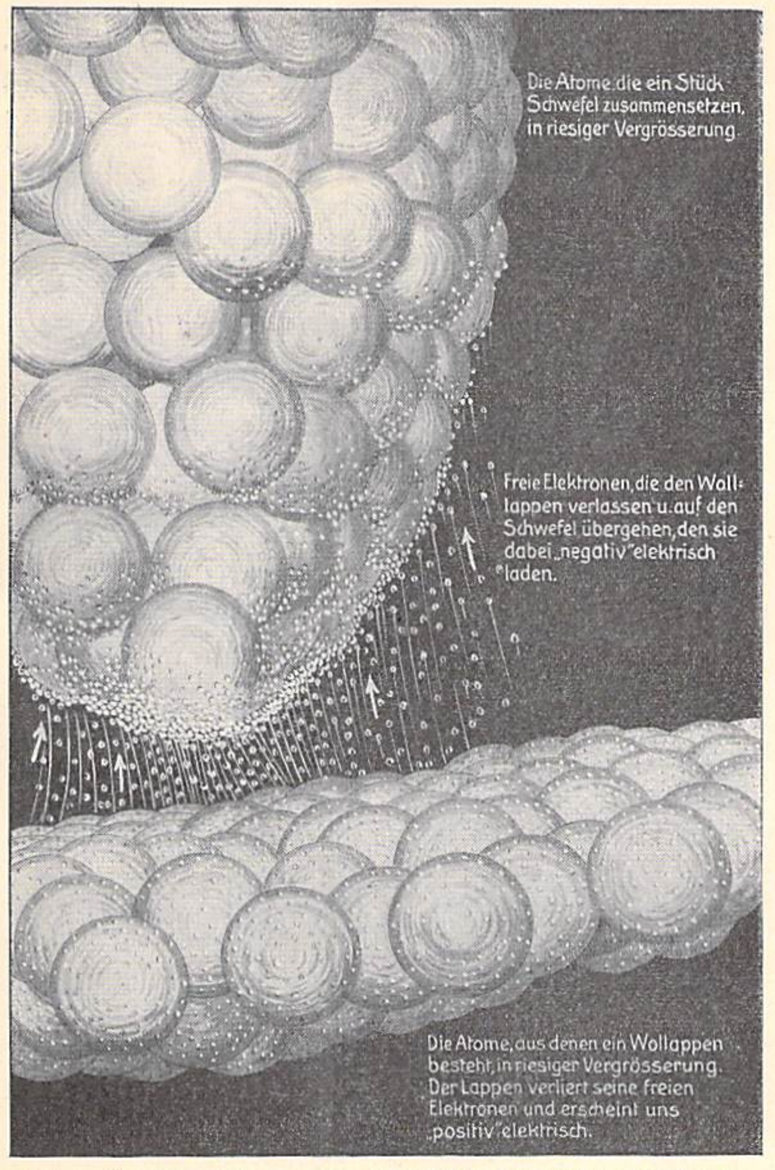


Abb. 1. Die bei der Reibung von Schwefel mit Wolle stattfindenden elektrischen Vorgänge in ungeheurer Vergrößerung.

haft, daß man ihm eigentlich keinen Vorwurf machen kann. Lieber soll man schon lachen über die Hilf- und Ratlosigkeit der Menschen, jene Experimente und ihre Ergebnisse zu erklären: wie sie immer im Dunkeln tappten und den Wald vor lauter Bäumen nicht sahen, wie sie die unverständlichsten und schwierigsten Gedankensprünge machten, nur weil die Wirklichkeit gar so einfach war.

Ich erinnere mich noch gut des Tages, an dem uns ein neugieriger Mensch zum erstenmal in unserer Ruhe störte. Wir saßen gerade gemütlich in großer Gesellschaft auf einem Stück Schwefel, als der Mensch darauf verfiel, gerade dieses Schwefelstück mit einem Wollappen zu reiben. Warum das geschah, ist uns erst später klar geworden, aber die Folgen spürten wir gleich. An dem Wollappen hafteten, wie an allen Körpern im Raum, Elektronen, und die wurden jetzt durch die Reibung gezwungen, auszuwandern und auf den Schwefel hinüberzugehen (Abb. 1, Vollbild). Ihr werdet fragen, warum nicht gerade das Gegenteil geschah? Nun, manche Stoffe enthalten eben mehr Elektronen als andere, und auf der Oberfläche aller Stoffe mit vielen Elektronen ist eine Anzahl davon immer bereit, sich von den Atomen loszureißen und auszuwandern auf Stoffe, die elektronenarm sind. Ihr Menschen kennt ja bei übervölkerten Ländern den gleichen Vorgang. Die, die keinen ordentlichen Platz finden, auf dem sie leben können, stehen stets auf dem Sprunge, in fremde Länder abzuwandern, die ihnen ein besseres Los bieten. Wolle z. B. ist reich an nur lose gebundenen Elektronen, Schwefel im Gegensatz dazu sehr, sehr arm. Durch das Reiben des Schwefels mit dem Wollappen bekamen also viele unserer Kameraden Gelegenheit, zum Schwefel hinüberzuwandern, und diese Gelegenheit nahmen sie schleunigst wahr.

Nun habe ich eben erzählt, daß ein Mangel an Elektronen jenen Zustand hervorruft, den ihr als positive elektrische Ladung bezeichnet, während die Anwesenheit freier Elektronen einen Körper negativ elektrisch macht. Wenden wir diese Betrachtung auf den Versuch hier an, so müssen wir sagen, daß der Schwefel, der sich mit freien Elektronen bereichert, negativ elektrisch wird, während die vieler Elektronen beraubte Wolle als positiv elektrisch erscheint. Man hat hernach ähnliche Experimente mit Seide und Glas angestellt, bei denen der Fall umgekehrt liegt. Die Seide entzieht dem Glas Elektronen und wird also negativ, der elektronenarme Glasstab ist hernach positiv.

Doch nun wieder zurück zu jenem ersten Versuch, von dem ich erzählte. Viele unserer Kameraden wanderten also von der Wolle auf das Schwefelstück hinüber und setzten sich dort einmal fest. Für uns, die wir zuerst dort saßen,

wurde der Aufenthalt durch das entstehende Gedränge recht unangenehm, und deshalb suchten wir möglichst schnell von da zu entkommen. Nun sind wir Elektronen ein bewegliches Völkchen. Nie liegen wir in starrer Ruhe da, sondern kreisen immer mit sich stetig gleichbleibender Geschwindigkeit um unsere eigene Achse, ohne daß wir uns doch durch diese Drehung von der Stelle bewegen. Die Welle einer Dampfmaschine dreht sich ähnlich, und das ist euch vielleicht ein vertrautes Bild. Dabei entsteht um jedes Elektron herum eine Art Wirbel im Äther[1]), eine Ätherströmung. Es ist fast genau der gleiche Vorgang, wie er sich zeigt, wenn man mit einem dünnen Hölzchen in einer Schale mit Wasser quirlt. Auch dabei entsteht ein Wirbel, der die Wasserteilchen vom Rande her nach dem Innern reißt. Das wird besonders gut sichtbar, wenn man ein paar Papierschnitzel in das Wasser streut.

Solche Wirbelströme erregten wir also im Äther, der alles umgibt und durchdringt. Und in diese Wirbel geriet ein Stückchen Papier, das wohl zufällig auf dem Tische lag. Natürlich flog das Papierstückchen sofort auf den Schwefel zu und blieb da hängen (Abb. 2), weil die überzähligen Elektronen des Schwefels die elektronenarmen Atome des Papiers (Papier ist gewöhnlich auch elektronenarm!) an sich zogen, um sich mit ihnen zu vereinigen. Sobald das geschehen war, stießen sich die Elektrone auf dem Papier und die auf dem Schwefel natürlich ab und infolgedessen fiel das Stückchen Papier wieder herab auf den Tisch. Wir hätten kaum darauf geachtet, denn uns war der Vorfall durchaus nichts Neues. Aber dem Menschen, der das Schwefelstück hielt, mußte dabei etwas auffallen, denn wir sahen auf einmal, wie er das Papierstückchen sorgfältig packte und es wieder an die Stelle legte, an der es sich vorher befunden hatte. Das wies deutlich darauf hin, daß die Erscheinung dem Forscher neu gewesen war, und wir paßten daher genau auf, was jetzt geschehen würde. Der Mensch hielt das Schwefelstück genau in die gleiche Entfernung vom Papier wie vorher und erwartete anscheinend, daß es das Papier wieder anziehen würde. Aber da hatte er die Rechnung ohne den Wirt gemacht.

---

[1]) Als Äther bezeichnet die Wissenschaft ein äußerst dünnes und feines Etwas, das das ganze Weltall erfüllen soll und zwar ebenso gut den Raum zwischen den fernsten Sternen, wie den zwischen den Atomen aller chemischen Stoffe, also aller Körper. Den Äther denkt man sich als mit unseren Instrumenten unwahrnehmbar. Sein Dasein ist also auch nicht durch Tatsachen erwiesen. Wir müssen seine Existenz aber annehmen, weil eine ganze Reihe von Naturerscheinungen nur mit seiner Hilfe erklärt werden kann.

Während er das Papierblättchen packte, um es an den alten Platz zu legen, hatte er das geriebene Schwefelstück fest mit der Hand umschlossen gehalten. Das aber war für die meisten meiner Kameraden ein vortreffliches Mittel, um dem Gedränge zu entfliehen. Sie glitten schleunigst von der Hand über den Arm und den Körper des Menschen zur Erde hinab, wo mehr Platz für sie war. Auch auf das Papier hatten sich viele Elektronen geflüchtet und nur wenige waren auf dem Schwefelstückchen zurückgeblieben, darunter auch ich. Aber wir hatten jetzt genügend Raum und waren so gering an Zahl, daß die Ätherströmung, die wir hervorrufen konnten, kaum mehr merklich war. Der erneute Versuch, das Papierstück zu bewegen, hatte also keinen Erfolg. Der Forscher besann sich lange und fand dann wohl die richtige Ursache heraus. Gleich nahm er den Wollappen, der bisher auf dem Tisch gelegen hatte, rieb damit den Schwefel und trieb eine neue Schar Elektronen von der Wolle auf ihn hinauf, so daß wir wiederum ins Gedränge kamen und kräftigere Wirbel erzeugten. Dabei wurde ein anderes Papierstückchen gepackt und flog im gleichen Augenblick auf uns zu.

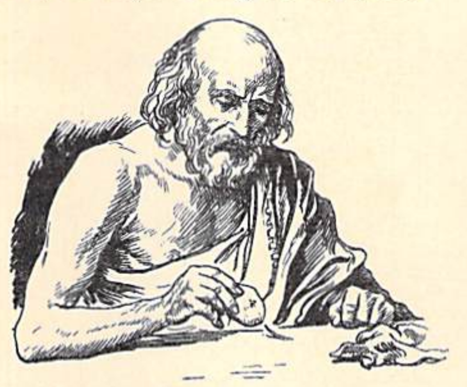


Abb. 2. Die ersten Versuche mit geriebenem Harz (Bernstein, Schwefel), bei denen man die Elektrizität entdeckte. Um 590 v. Chr.

Der Mensch schaute aufmerksam hin und dachte dann anscheinend nach. Wir wagten uns kaum zu bewegen, da wir fühlten, daß sich hier jetzt unser Dasein enthüllen könne, wenn er den richtigen Weg zur Deutung der Tatsachen fand. Wie aber waren wir enttäuscht, als wir hörten, was der Forscher als Erklärung seiner Beobachtungen in die Welt hinausposaunte. Das Schwefelstück, auf dem wir zufällig gesessen hatten, sollte durch die Reibung Leben bekommen haben, und das Leben sollte die Ursache der Anziehung gewesen sein. Leben! Nein, dieser Unsinn. Leben auf diese Weise hervorzuzaubern, das hätte den Leuten gepaßt. Aber das war doch etwas schwieriger, als man zu jener Zeit dachte. Und bis heute hat man das Rätsel des Lebens noch nicht gelöst.

Die ganze Sache hatte aber das eine Gute an sich, daß sich die Menschen

der merkwürdigen Erscheinung, die da beobachtet worden war, etwas mehr annahmen. So mußten wir viele, viele Jahre hindurch immer wieder leichte Körperchen anziehen. Kleine Kügelchen aus weichem Mark hatte man an dünnen Fäden aufgehängt, und die stellte man uns gegenüber (Abb. 3). Und feine Papierschnitzel, Flaumfederchen und was nicht alles sonst noch, legte man uns vor. Wir machten den Leuten gern das Vergnügen, denn uns kostete die Sache ja keine Mühe, aber wir wurden doch allmählich traurig, als wir sahen, daß die Forscher von dem dummen Gedanken, diese Anziehungskraft käme dem Schwefel selber zu, nicht loskommen konnten. Hätte nur jemand die Versuche einmal mit Harz oder Glas ausgeführt, so würde er gleich bemerkt haben, daß auch diese Stoffe nach kräftigem Reiben die seltsame Eigenschaft zeigten, die man beim Schwefel damals fand. Das hätte ihm dann doch sicher sagen müssen, daß hier Kräfte am Werke waren, die die Stoffe nur als Träger benutzten.



Abb. 3. Die späteren Versuche, mit Hilfe des elektrischen Pendels und den daran beobachteten Gesetzen der Anziehung und Abstoßung den elektrischen Erscheinungen näher zu kommen.

Aber wir hatten den Menschen und seine Denkkraft bei dieser Vermutung noch überschätzt. Lange, lange Zeit — es mochten nach menschlicher Rechnung viele Jahrhunderte sein — trat keine Veränderung in den Versuchen ein, und wir wollten alle Hoffnung, je entdeckt zu werden, bereits langsam aufgeben. Da drang eines Tages die Nachricht zu uns, daß ein großer Gelehrter uns auf der Spur sei. Er unterwarf alle möglichen Stoffe einer kräftigen Reibung und jagte die Elektronen von den einen Stoffen fort und auf die anderen hinauf. Mit einer Glasstange, die er mit Seide rieb, fing er an. Als er dann sah, daß leichte Körperchen darauf zuflogen, war er erst überrascht, aber immer probierte er weiter, und schließlich fertigte er eine Liste von allen Stoffen an, die nach dem Reiben elektrische Wirkungen zeigten. Wir vergnügten uns königlich bei seinem Eifer, aber dann dauerte uns der arme Mann doch wieder sehr, weil er sich trotz seiner Klugheit nicht von dem Gedanken losmachen konnte, daß die Stoffe selbst durch die Reibung verändert würden.

Besonders leid tat es mir, als ich erzählen hörte, wie dieser Forscher einmal viel Zeit und Mühe darauf verwendet hatte, uns auf Metallstücken zusammenzudrängen. Das brachte er einfach nicht fertig, und darüber wunderte er sich sehr. Die Ursache dieses Mißerfolgs lag jedoch so klar auf der Hand, daß die Elektronen, die dabei waren, bei allem Mitleid noch lachen mußten. Wir Elektronen hassen jedes Gedränge und suchen uns, wie schon bemerkt, im allgemeinen so weit voneinander zu entfernen, wie das nur möglich ist, damit wir genügend Platz für unsere Schwingungen haben. Drückt uns eine äußere Kraft zusammen, so nützt uns natürlich unser Mißbehagen in den meisten Fällen nichts. In Bernstein und Schwefel müssen wir beispielsweise auch im stärksten Gedränge sitzen bleiben, denn beides sind Stoffe, von deren Atomen wir uns nicht loslösen können, wenn wir einmal damit verbunden sind. Darin liegt kein Widerspruch gegen meine Erzählung von jenem ersten Versuch mit dem Schwefelstück, bei dem einige von uns über die Hand, die das Schwefelstück hielt, zur Erde schlüpften. Die Elektronen, die ganz außen am Schwefel sitzen, gehören zu jener leicht löslichen Schicht, über die, wie ich schon sagte, jeder elektrische Körper verfügt, und sie können entweichen, wenn sie einen Weg zur Erde oder zu einem anderen elektronenärmeren Körper finden. Aber alle die Elektronen, die mit den Atomen im Innern des Schwefels verbunden sind, können sich nicht vom Flecke rühren, wenn sie auch natürlich die Kreisbewegung um sich selbst, die jedes Elektron immer macht, ausführen. Daher kommt es auch, daß ein Schwefelstück, dem die äußere Elektronenschicht entzogen wird, euch unelektrisch erscheint, obwohl im Innern ungeheuer viele Elektronen sitzen. Diese Elektronen sind gebunden und können nach außen nicht wirken; das ist genau so gut, als ob sie überhaupt nicht vorhanden wären. Aus der Zeit der ersten Theorien über die Elektrizität habt ihr Menschen noch einen recht passenden Ausdruck, unter dem ihr alle die Stoffe, die unsere Fortbewegung hindern, zusammenfaßt. Ihr bezeichnet sie als „Nichtleiter" der Elektrizität und stellt ihnen gegenüber die „Leiter", zu denen vor allem die Metalle gehören.

Bei den Leitern liegt die Sache so, daß Atome und Elektronen fortwährend in heftiger Bewegung sind; es fliegen andauernd freie Elektronen umher, stoßen gegenseitig und mit Atomen zusammen, schließen sich an diese an und lösen sich durch neue Zusammenstöße wieder los. So ist also hier stets Gelegenheit, vom Innern nach außen zu gelangen und dort irgendeinen bequemen Weg über den Tisch oder den Körper hinweg zu nehmen, der uns zur Flucht zur Erde verhilft. Sobald der Forscher

also bei jenem Versuch das Metallstück zu reiben begann, drängten diejenigen unserer Kameraden, die auf und in dem Metallstück saßen, über den Arm und den Körper des Gelehrten zur Erde, und so war der Platz für die frei, die von dem Reibzeug auf das Metall hinüber mußten. Da gab es denn natürlich kein Gedränge, keine merkbare Ätherstörung, also auch keine Anziehung.

Danach ist es wohl klar, warum der Forscher zunächst beim Reiben von Metallen nicht den geringsten Erfolg verzeichnen konnte. Aber der Mann war doch etwas klüger, als unsere Kameraden, mit denen er seine Versuche anstellte, geglaubt hatten. Er mußte sich wohl die ganze Geschichte genau überlegt haben, denn er gab später, wie ich hörte, dem Metallstück einen Glasgriff, an dem er es beim Reiben hielt. Durch Glas können wir, da es ein „Nichtleiter" für uns ist, ebensowenig hindurch wie durch Schwefel, und daher waren unsere Kameraden dort jetzt auch völlig gefangen. Natürlich entstand nun beim Reiben auch hier ein Gedränge, und leichte Körperchen wurden durch die Wirbel herangezogen. Aber selbst dieser doch so klare Beweis für unser Dasein brachte den Forscher nicht auf unsere Spur.

Von der Theorie des belebten Stoffes war man zu dieser Zeit allerdings längst abgekommen. Man sprach an deren Stelle nur von der Anziehungskraft der Stoffe oder von einer Bernsteinkraft, weil man diese Kraft eigentlich zuerst am Bernstein (nicht am Schwefel!) entdeckt hatte. Und da Bernstein griechisch Elektron heißt, nannte man die geheimnisvolle Kraft „Elektrizität".

Von dieser Zeit an wurden uns die Menschen noch interessanter wie zuvor, denn wir fühlten, daß sie uns früher oder später doch entdecken würden. Da aber die Geschichte so furchtbar langsam ging, beschlossen wir, uns etwas stärker bemerkbar zu machen. Wie das geschah, will ich im nächsten Kapitel erzählen.

II. Kapitel.

Ernstes und Heiteres.

Im Jahre 1663 baute Otto von Guericke in Magdeburg, der Erfinder der Luftpumpe, die erste Elektrisiermaschine zur Erzeugung größerer Elektrizitätsmengen. Es handelte sich dabei um eine Schwefelkugel, die schnell gedreht werden konnte, und gegen die man die eine trockene Hand als Reibzeug drückte. Diese Maschine wurde bald vervollkommnet. Man ersetzte die Schwefelkugel zuerst durch Glaszylinder und später durch Glas- oder Hartgummischeiben. Als Reibzeug benutzt man Seiden- oder Lederkissen oder auch kleine Drahtbürstchen, und die erzeugte Elektrizität wird auf Messingzylindern mit isolierenden Glasfüßen (Konduktoren) gesammelt. Nähert man dem Konduktor die Hand, so springt bei genügend starker Ladung ein kürzerer oder längerer Funke über, in dem sich die angehäufte Elektrizität einen Weg zur Erde bahnt, sich ausgleicht, wie der Fachausdruck lautet.

1745 entdeckte E. J. v. Kleist, ein deutscher Gelehrter, daß es möglich war, größere Elektrizitätsmengen in einer mit Wasser gefüllten Flasche aufzuspeichern (Kleistsche Flasche). 1746 wiederholte ein holländischer Gelehrter, Musschenbroek in Leiden, die gleichen Versuche, ersetzte aber dabei die wassergefüllte Flasche durch ein innen und außen bis auf einige Zentimeter vom Rande mit Stanniol belegtes, oben offenes Gefäß (Leidener Flasche). Die äußere Belegung brachte er an, weil er bemerkt hatte, daß ein zur Erde abgeleiteter Leiter eine Verstärkung der elektrischen Ladung auf dem gegenüberstehenden inneren Belag gestattete. Die Wirksamkeit der Leidener Flasche erklärte man sich damals so, daß die von der Elektrisiermaschine kommende, zu der inneren Belegung geleitete negative Elektrizität durch das Glas hindurch auf die äußere Belegung wirke und hier eine gleiche Menge positiver Elektrizität bände oder neutralisiere. So war die eingeleitete Menge Elektrizität sozusagen gefesselt, und man konnte eine weitere Portion Elektrizität zuführen, mit der dann wieder das gleiche geschah. Berührte man die äußere und innere Belegung gleichzeitig, so vollzog sich sofort ein Ausgleich der Ladung — eine Entladung — durch den Körper des Berührenden hindurch, und zwar bei der Stärke der Ladung mit ziemlicher Gewalt, unter Umständen unter starker Funkenbildung.

Im Jahre 1708 machte der englische Physiker Wall darauf aufmerksam, daß der elektrische Funke Ähnlichkeit mit dem Blitz habe, während sein Knattern ganz schwachem Donner ähnele. 1746 wies Joh. H. Winkler durch logische Schlüsse nach, daß hier nicht nur Ähnlichkeit, sondern tatsächliche Gleichheit vorläge. Benjamin Franklin untersuchte diese Fragen näher, und ihm gelang es 1752 durch seinen Drachenversuch, den direkten Beweis für diese Gleichheit zu erbringen. Der Blitz war von da ab als eine Funkenentladung zwischen der Erde und den Wolken oder zwischen Wolken und Wolken erkannt. 1753 erfand Franklin den Blitzableiter, eine Vorrichtung, durch die der Wolkenelektrizität ein bequemer Weg zur Erde gebahnt wird, die aber gleichzeitig

den Ausgleich der atmosphärischen elektrischen Ladung ohne Funkenbildung durch Spitzenstrahlung erleichtert.

Die nächsten Jahre sahen zahlreiche Versuche, die Blitzentladung noch immer besser kennen zu lernen. Dazu mußte man diese Entladungen natürlich auffangen, um sie im Laboratorium zu untersuchen. Daß das bei den ungeheuer großen Elektrizitätsmengen, um die es sich dabei handelte, nicht ohne Gefahr war, lag auf der Hand. 1753 erlitt der Physiker G. W. Richmann bei solchen Untersuchungen einen jähen Tod durch die in sein Haus geleiteten atmosphärischen Entladungen.

Im gleichen Jahre entdeckte John Canton die elektrische Influenz und konstruierte das erste Elektroskop.

1762 sprach Joh. C. Wilcke das Prinzip des Elektrophors aus, der 1775 durch Alessandro Volta konstruiert wurde.

Zu Beginn meines neuen Kapitels möchte ich euch zunächst von einer kleinen Überraschung erzählen, die wir einem allzu neugierigen Forscher bereiteten. Man hatte damals gerade besondere Apparate erfunden, eine Art Reibmaschinen, mit deren Hilfe man große Mengen von uns freimachen und isolieren konnte. Die ersten derartigen Maschinen bestanden einfach aus einer Schwefelkugel, die sich um eine Achse drehen ließ, und die sich an der dagegen gehaltenen trockenen Hand stark rieb (Abb. 4). Dabei trat die gleiche Erscheinung auf, wie beim Reiben von Schwefel mit einem Fell. Der Schwefel entzog der Hand freie Elektronen und wurde dadurch negativ elektrisch. Da die Kugel groß und dick war, sammelten sich recht beträchtliche Elektrizitätsmengen auf ihr an, und die benutzte man dann hernach wieder zu allerlei Versuchen über Anziehung und dergleichen (Abb. 5). Bald aber kam man dahinter, daß man bei solchen Maschinen die Erscheinung, daß wir Elektronen uns gegenseitig abstoßen, nutzbar machen könne. Man brachte nämlich einen isolierten Leiter, etwa einen auf einem Glasfuß befestigten Metallkörper, in die Nähe der Maschine, bei der man gleichzeitig die reibende Hand aus Bequemlichkeit durch ein mechanisch arbeitendes Reibzeug, meist einen Lederlappen, der durch Federn an die Kugel gepreßt wurde, ersetzt hatte. Drehte man die Kugel, so entzog sie dem Reibzeug durch die Reibung freie Elektronen, wurde stark negativ elektrisch und hinterließ das Reibzeug positiv. Die Elektronen der Kugel wirken dann abstoßend auf die Elektronen des isolierten Metallkörpers, der neben der Maschine stand, halten dagegen die positiven Atome durch Anziehung fest. Verbindet man also den Metallkörper mit der Erde, so schlüpfen die abgestoßenen Elektronen in die Erde hinab. Nach der Beseitigung der Erdverbindung bleibt ein positiv elektrischer Körper

zurück, in dem sich die positive Elektrizität gewissermaßen aufgespeichert hat. Ist kein Weg zur Erde vorhanden, so sammeln sich die Elektronen auf der Seite der Metallkugel an, die von der Maschine abgekehrt ist, und hier müssen sie sich so eng wie möglich zusammenpressen, obwohl sie sich

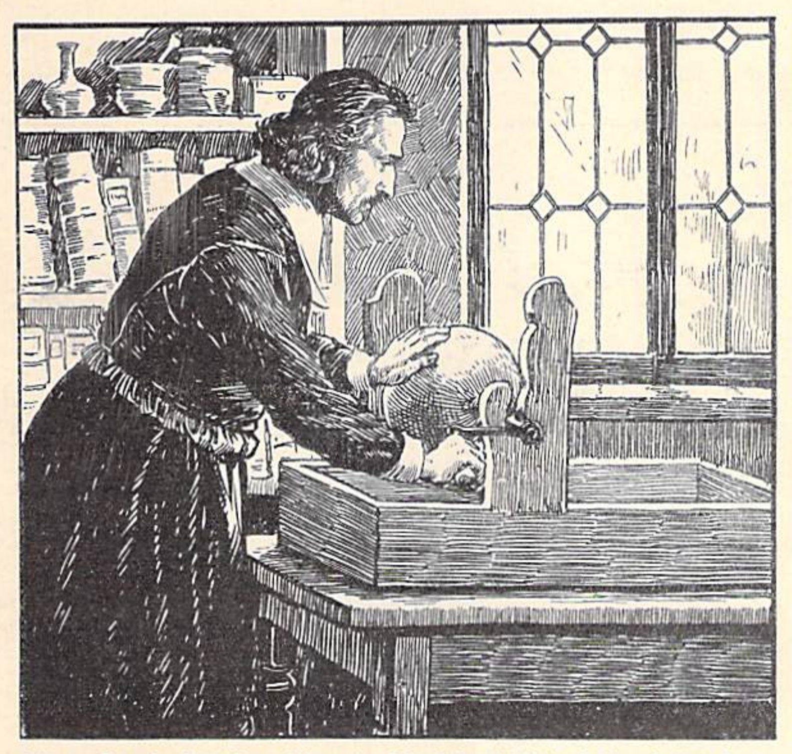


Abb. 4. Die erste Elektrisiermaschine, eine Schwefelkugel, die durch die aufgelegte Hand bei der Drehung gerieben wurde, und die sich dabei durch die der Hand entzogenen Elektronen negativ lud.

ihrer Natur gemäß gerade entgegengesetzt verhalten möchten. Wird das Gedränge allzu stark, so bietet sich nur ein Ausweg, der Weg der höchsten Not, ein Sprung durch die Luft zur Erde hinab oder zu einem Gegenstand hin, der mit der Erde in Verbindung steht. Die Luft ist sonst für uns undurchdringlich, denn sie verhält sich genau wie die Nichtleiter, von denen ich euch schon sagte. So müssen wir uns also diesen Weg durch sie hindurch mit Gewalt erzwingen, und dazu bedarf es riesiger Spannungen, die nur

vorhanden sind, wenn ungeheure Mengen von Elektronen zusammengedrängt werden. Es bricht dann zunächst ein Elektron aus der Menge der übrigen aus und springt zur Erde oder zu einem mit der Erde in Verbindung stehenden Körper hinüber. Dabei stößt es mit neutralen Atomen zusammen und zersplittert sie durch den Anprall in noch winzigere Teilchen, die ihr Menschen „Jonen" nennt. Durch diese Jonen wird der Luftweg zur Erde gewissermaßen besser gangbar, denn sie sind ebenso viele

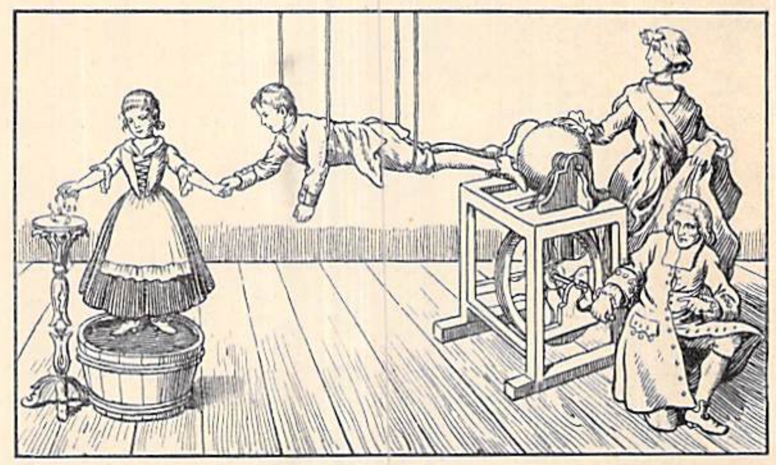


Abb. 5. Versuch über Anziehung und Abstoßung kleiner Körper durch die von einer Schwefelkugel-Elektrisiermaschine erzeugte Elektrizität, die durch den Körper des an Seidenschnüren (Nichtleiter) aufgehängten Knaben und den Körper des auf einer mit Teer (Nichtleiter) gefüllten Tonne stehenden Mädchens fortgeleitet wird. (Nach einer Darstellung in einem alten englischen Werk.)

kleine Leiter, zwischen denen nur kurze nichtleitende Weglängen bestehen. So haben also die nächsten Elektronen schon einen bequemeren Weg zur Flucht, und auch sie brechen aus dem Gedränge aus. Es kommt zu neuen Zusammenstößen und Zerspaltungen, und das alles zeigt sich euch Menschen äußerlich in den durch die furchtbare Reibung erhitzten glühenden Teilchen, die eine lange leuchtende Linie, den elektrischen Funken, bilden, während der Aufprall der Elektronen das begleitende knatternde Geräusch hervorruft. Beides findet sich in der freien Natur als Blitz und Donner wieder. Doch darauf komme ich hernach noch näher zu sprechen, denn jetzt will ich erst mein Erlebnis zu Ende berichten.

Der Forscher, von dem ich hier spreche, besaß eine der neuen Maschinen

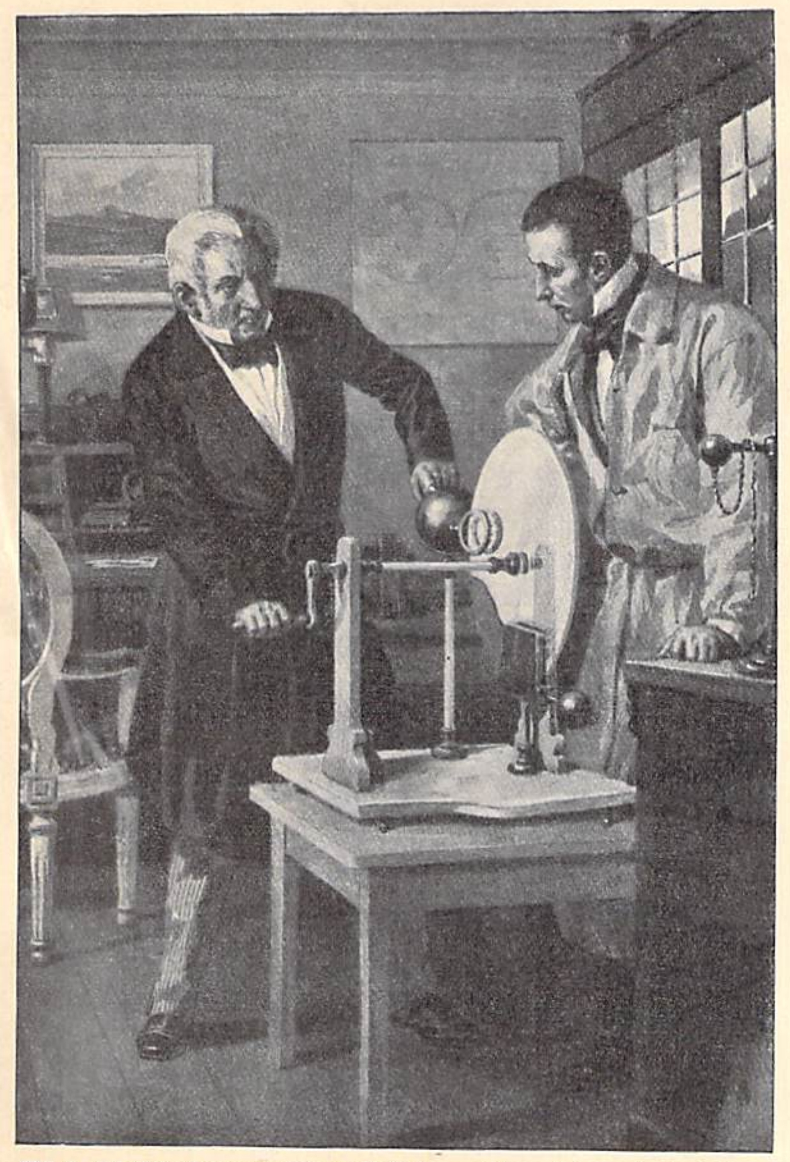


Abb. 6. Scheibenelektrisiermaschine mit Konduktor, aus dem sich nach starker Reibung Funken ziehen lassen.

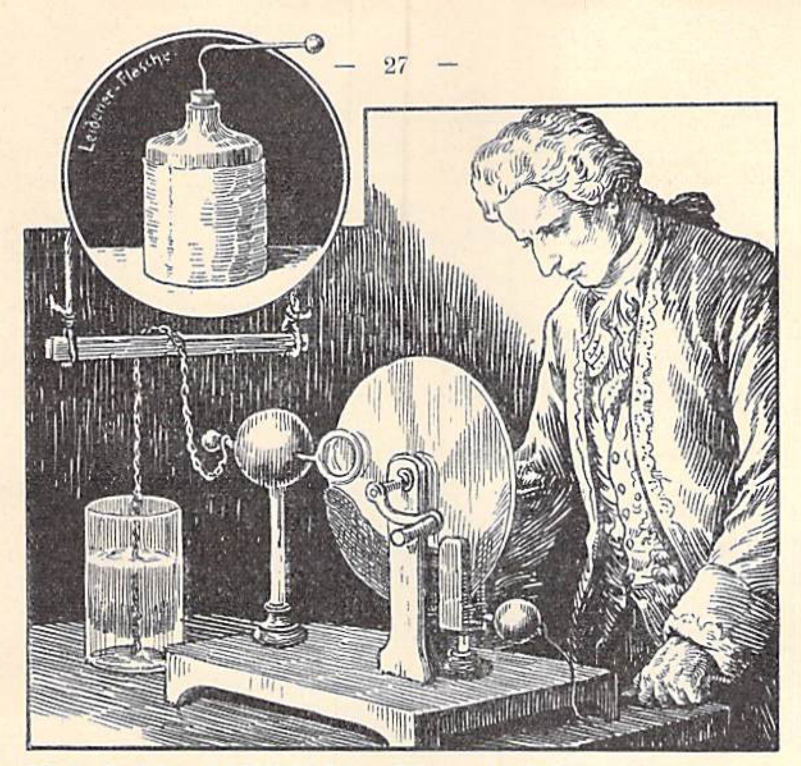


Abb. 7. Darstellung des Versuchs, der zur Erfindung der Kleistschen (unten) und weiter zum Bau der Leidener Flasche (oben links) führte, die beide die Ansammlung größerer Elektrizitätsmengen gestatten.

und quälte uns furchtbar damit. Wir wanderten von dem Reibzeug, das eine Glasscheibe rieb, so schnell wie möglich auf die Scheibe hinüber, der ein rundes, ringsum geschlossenes Metallgebilde gegenüberstand. Der allgemeinen Eigenschaft der Elektronen gemäß wirkte unsere Annäherung auf unsere Kameraden in jener Metallkugel so ein, daß sie ihr Heil in schleuniger Flucht suchten und sich im abgewendeten Teile der Kugel sammelten. Von hier aus konnten sie jedoch nicht weiter, weil die Kugel auf einer Glassäule befestigt und also von der Erde völlig getrennt war. Der Forscher drehte und drehte seine Scheibe, und immer mehr unserer Kameraden kamen zu uns hinüber, und immer mehr bei uns mußten fliehen. Die Geschichte war kaum mehr zum Aushalten, und den Verstoßenen auf der fernen Kugelseite riß wohl bald die Geduld. Ich hatte so etwas noch nie erlebt, aber ein paar von meinen Freunden kannten die Geschichte schon von früher her, und sie sagten, jetzt

würde es gleich eine Katastrophe geben. Kaum war das Wort gesprochen, da war die Katastrophe da. Ein Ruck, eine wilde Erregung unter den Elektronen dort drüben auf der anderen Seite der Kugel. Was war geschehen? Ein ganzer Haufe meiner Kameraden hatte sich zusammengetan, um einen Sprung nach der Hand des Beobachters zu machen, der der Kugel unvorsichtigerweise nahegekommen war. Mit einem lauten Knattern zerteilte sich die Luft, die sie zerrissen und deren einzelne Atome sie in glühende Stäubchen zerrissen. So wurde der Sprung dem Beobachter als eine lange leuchtende Linie sichtbar, die in seine Hand hineinfuhr und ihn schmerzhaft zusammenzucken ließ (Abb. 6, Vollbild). Für mich und ein paar andere Elektronen war der Ausweg neu, und wir schauten mit Interesse zu, wie im Handumdrehen wieder eine Schar meiner Brüder auf der Reise war. Aber dann zog der Mann schnell seine Hand zurück, und unsere Kameraden waren aufs neue gefangen. Immerhin hatte es Platz dort drüben gegeben, und als der Forscher die Maschine dann stillstehen ließ, war alles sehr zufrieden.

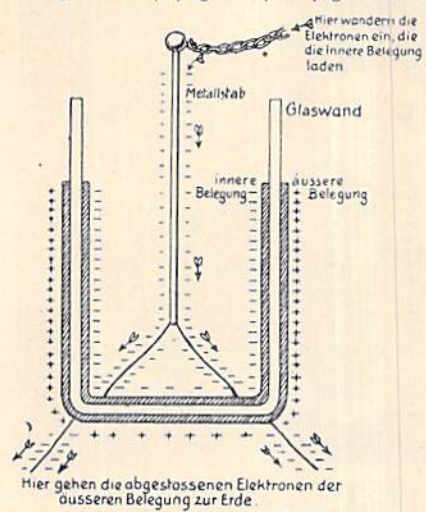


Abb. 8. Schema der Wirkung einer Leidener Flasche. Die freien Elektronen (—) der inneren Belegung stoßen die Elektronen des äußeren Belags in die Erde ab. Der äußere Belag enthält keine freien Elektronen mehr und erscheint positiv elektrisch (+) geladen. Verbindet man äußere und innere Belegung, so vereinigen sich die freien Elektronen mit den elektronenarmen Atomen unter starken Funkenerscheinungen.

Jetzt konnten wir erst einmal richtig das Gesicht des Menschen betrachten, dem unsere Kameraden so zu Leibe gegangen waren, und wir mußten hellauf lachen, als wir sahen, wie er voller Schrecken um die Maschine herumlief und meinte, da wäre das höllische Feuer zum Vorschein gekommen. Schließlich war das ja auch alles recht wunderbar, und ich war selber ein wenig darüber erstaunt. Es war wie ein richtiges Bombardement gewesen, ein Blitz, ein Krach und ein Einschlagen, alles aber in dem winzigsten Bruchteil einer Sekunde, also so schnell hintereinander, wie ich es gar nicht erzählen kann.

Später hatten wir oft Gelegenheit, diese Funkensprünge zu wiederholen,

und jedesmal gerieten die Menschen wieder aufs neue in Schrecken. Der schönste Spaß kam jedoch noch. Ich war leider bei dieser Geschichte nicht dabei, aber meine Kameraden erzählten mir hernach davon. Ein Gelehrter war auf den Gedanken gekommen, die Elektronen, die auf einer solchen Metallkugel frei wurden, in einer mit Wasser gefüllten Flasche anzusammeln. Warum er gerade eine Flasche mit Wasser wählte, weiß ich bis heute noch nicht. Aber vielleicht experimentierte er nur so herum, wie das damals vielfach geschah. Auf jeden Fall hatte er mit der Metallkugel, oder, wie jene Forscher sagten: dem Konduktor seiner Elektrisiermaschine eine Kette verbunden, und deren freies Ende hing er in eine mit Wasser gefüllte Flasche hinein (Abb. 7). Sobald er seine Maschine drehte, ging die Drängelei wieder los. Unsere Kameraden mußten hinein in das Wasser, ob sie wollten oder nicht, und der Mensch konnte anscheinend gar nicht genug bekommen, so heftig und anhaltend drehte er. Schließlich hörte er aber doch auf, und nun ergriff er die Flasche mit der einen Hand und näherte die andere der Kette, um sie damit herauszuziehen. Das war die Gelegenheit zu entkommen, auf die die Gefangenen, die im Wasser saßen, nur warteten. Ein Knattern, und die ganze große Menge der Elektronen fuhr mit einem einzigen Satz über die Kette hinein in des Mannes Arm, um von dort in die Erde zu entwischen. Das war aber kein leises unmerkliches

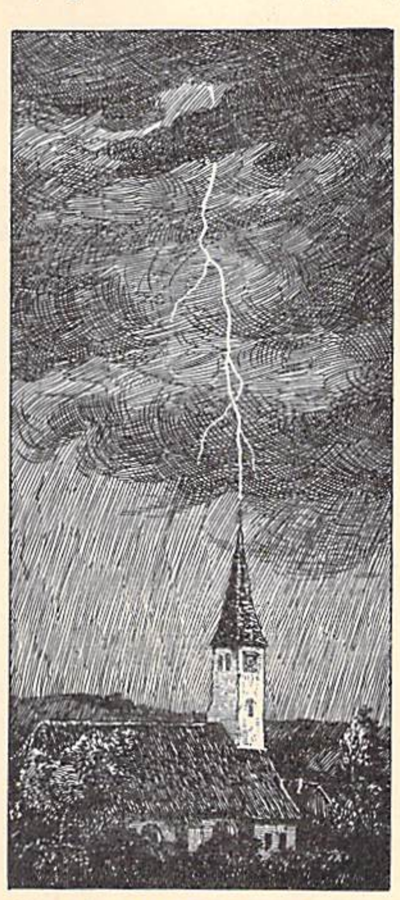


Abb. 9. Von der Wolke zur Erde springende Elektronen erzeugen durch das Zerreißen der Luftteilchen eine lange, vielfach verästelte Lichtlinie, den Blitz.

Entschlüpfen mehr, dazu war die Menge der Elektronen zu groß. Wie ein heftiger Schlag schien der Sprung auf den Menschen zu wirken. Seine Muskeln krampften sich zusammen, und sein Gesicht verzerrte sich in jähem Schrecken. Er warf die Flasche zu Boden und hüpfte wie verrückt umher. Meine Kameraden, die sich ja in Sicherheit wußten, meinten, sie wären noch nie so vergnügt gewesen, als wie sie den Menschen so umhertanzen sahen.

Später hörte ich dann von einem anderen Forscher, der unvorsichtig genug war, den gleichen Versuch zu wagen. Nur nahm er statt der Wasserflasche ein offenes, außen und innen mit dünnem Metall (Stanniol) beklebtes Glas, in das er die Elektronen über eine Kette und einen aufrechtstehenden Metallstab, der mit der inneren Metallschicht verbunden war, trieb. Die Menschen hatten nämlich inzwischen jene Eigenschaft der Elektronen, sich untereinander abzustoßen und die positiven Atome anzuziehen oder zu „binden", erkannt, und diese Apparate waren auf Grund dieser Erkenntnis so gebaut, daß sie recht große Elektrizitätsmengen zu sammeln gestatteten. Zu verstehen, wie das geschah, ist gar nicht schwer. Die von dem Konduktor der Elektrisiermaschine verdrängten Elektronen wanderten durch die Metallkette in die Flasche hinein und ließen sich auf und in der inneren Stanniolschicht nieder. Natürlich saßen in der äußeren Stanniolschicht auch Elektronen, und die rissen, als innen die Einquartierung erschien, sofort aus, denn sie wurden durch das trennende Glas hindurch abgestoßen. Die Folge war, daß die äußere Belegung positiv elektrisch erschien. Je mehr Elektronen dann innen von der Elektrisiermaschine her einwanderten, desto mehr flüchteten außen, und desto stärker erschien die elektrische Ladung der Flasche (Abb. 8). Außerhalb der Belegung wurde die Ladung natürlich nicht bemerkbar, denn sie wurde in der gegenseitigen Bindung der negativen Elektronen, die innen saßen, und der positiven Atome, die außen schließlich fast allein übrigblieben, verbraucht. Das ändert sich gleich, sobald man die beiden Belege durch einen Leiter, etwa einen Draht, verbindet, denn dann treibt die Abstoßung der Elektronen unter sich sie in diesen Draht. Sobald sie auf positive Atome treffen, vereinigen sich die Elektronen mit ihnen und bilden damit neutrale Atome. Ist die leitende Verbindung an irgendeiner Stelle unterbrochen, so durchbricht die Entladung — wenn der Zwischenraum nicht zu groß ist — den Luftraum in einem Funken, wie wir ihn schon bei der Elektrisiermaschine kennen lernten. Es kann übrigens bei solchen Flaschen auch vorkommen, daß die Entladung bei allzu hoher Spannung durch das Glas selbst erfolgt.

Tatsächlich gelang es später meinen Brüdern ein paarmal, auf diese Weise zu entwischen. Sie durchbrachen das Glas in einem heftigen Sprunge und ließen in der Wandung ein Loch zurück. Hier aber bot wieder die Unvorsichtigkeit des Mannes bessere Gelegenheit zur Flucht. Als er lange

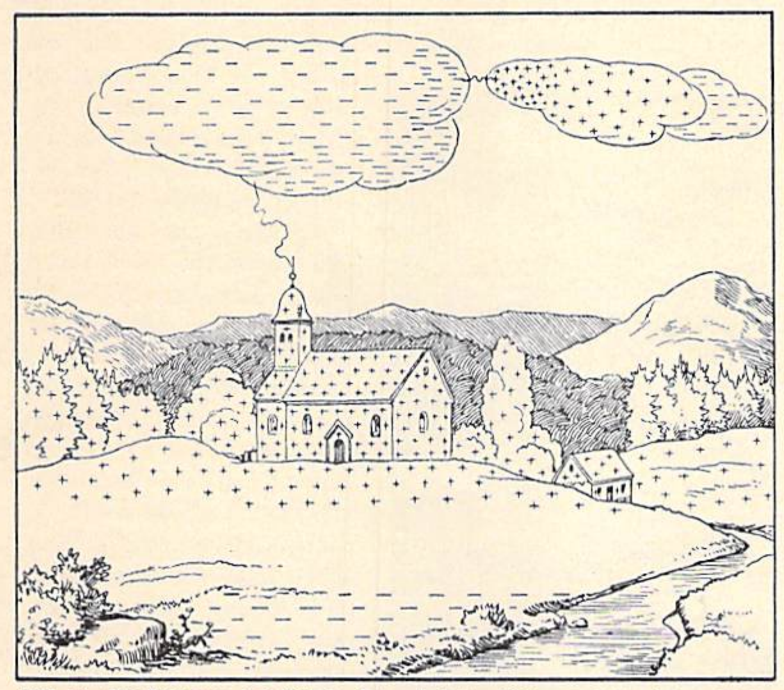


Abb. 10. Die Entstehung des Blitzes. Die mit freien Elektronen (—) geladene Wolke wirkt verteilend (influenzierend) auf eine benachbarte Wolke und auf die Erde, d. h. sie stößt die dort befindlichen Elektronen ab, so daß die Atome elektronenarm (positiv-elektrisch [+]) werden. Wird die Spannung zwischen Wolke und Erde bei immer stärkerer Annäherung sehr groß, so springen die freien Elektronen zur Erde über. Die begleitenden Licht- und Knallerscheinungen, die durch Reibung und Aufprall bedingt sind, nennen wir Blitz und Donner. Ein Ausgleich der Spannung zwischen Wolke und Wolke wird uns meist nur als fahles Aufleuchten und leises, dumpfes Grollen bemerkbar. Wir sprechen dann von „Wetterleuchten".

genug gedreht hatte, hielt er inne und ergriff die Flasche, um die Kette von der Zuleitungsstange zu entfernen. Natürlich stellte er dabei durch seinen Körper eine Verbindung zwischen Innen- und Außenbeleg her, und meine Kameraden benutzten diesen Weg gleich, um sich aus ihrem Kerker zu befreien und sich wieder mit positiven Atomen zu vereinigen. Der Mensch schrie laut auf, als er dabei einen heftigen Schlag empfing,

ließ die Flasche fallen und lief fluchend und tobend umher. Die Elektronen aber waren längst in Sicherheit und hörten zu, wie er die Maschine und die Flasche verwünschte, und wie er das Experiment nie wieder zu machen schwor.

Von da ab fanden wir reichlich Gelegenheit, die Menschen zu erschrecken. Und das machte uns große Freude. Nicht daß wir ihnen Furcht einflößen oder sie schädigen wollten, das lag uns völlig fern. Aber wir wollten ihre Aufmerksamkeit immer wachhalten, damit sie uns schließlich doch einmal entdecken müßten, denn das war unser heißester Wunsch.

Manche meiner Kameraden konnten übrigens noch von ganz anderen Sprüngen erzählen, als wie ich sie hier schilderte. Da waren beispielsweise Elektronen, die schon mehrmals die Reise von einer Wolke zur Erde gemacht hatten, und das in einem einzigen ungeheuren Satz. Auch von Wolke zu Wolke waren sie häufig gesprungen, und oft schon hatten diese Riesenfunken, die die Menschen Blitze nennen, große Zerstörungen auf der Erde verursacht. Da war ein Elektron, das war in einem Blitz gewesen, der einen Baum der ganzen Länge nach gespalten hatte. Ein anderes wieder war mit einer großen Gesellschaft an einem Kirchlein niedergefahren (Abb. 9) und hatte die ganzen Dachziegel zertrümmert. Ein drittes konnte von einem Blitzschlag erzählen, bei dem ein großes Haus an einer Ecke aufgerissen worden war. Natürlich kann ein einzelnes

Abb. 11. Franklins Drachenversuch, der den Beweis für die elektrische Natur des Gewitters erbrachte und zur Erfindung des Blitzableiters führte.

Elektron bei diesen riesigen Sprüngen nicht eigenwillig handeln. Da gilt nur das unbedingte Muß, und für den einzelnen heißt es: gehorchen. Und dann muß auch eine ungeheuer große Ansammlung von Elektronen, die nach vielen Milliarden zählt, vorhanden sein, ehe der Ausgleich er-

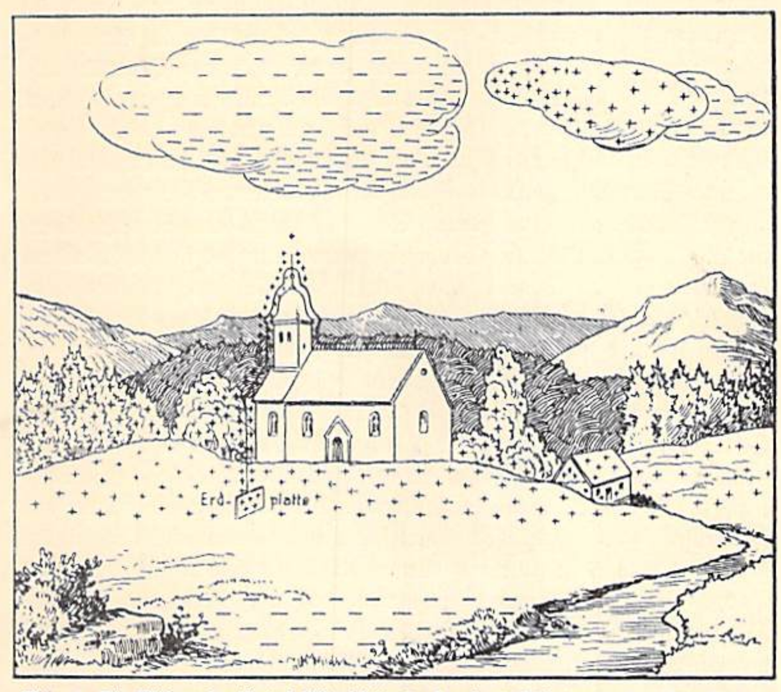


Abb. 12. Die Wirkungsweise des Blitzableiters. Durch die Anbringung der Blitzableiterstange mit der leitenden Verbindung zur Erde (Draht und Erdplatte) wird den freien Elektronen der Wolken ein bequemer Weg zur Erde geboten, den sie dem gewaltsamen Durchschlagen der Luft vorziehen. Außerdem fördert der metallische Blitzableiter, der möglichst immer der höchste Punkt der zu schützenden Gegend sein soll, durch seine Eigenschaft, die Elektronen gut durch sich hindurchgehen zu lassen, eine langsame, allmähliche Vereinigung der Elektronen der Wolke mit den Atomen der Erde, so daß es vielfach gar nicht zur Blitzbildung kommt.

folgen kann. Wie diese Entstehung des Blitzes im einzelnen vor sich geht, hat mein Dolmetsch auf meinen Wunsch in einer hübschen, anschaulichen Zeichnung (Abb. 10) dargestellt. Hoch droben am Himmel schwebt eine mit freien Elektronen stark geladene, also negativ elektrische Wolke. Woher die Ladung kommt, kann ich hier nicht erörtern, es ist auch für das, was ich jetzt erklären will, gleichgültig. Wie ihr wißt, wirken die in der Wolke

befindlichen freien Elektronen abstoßend auf alle Elektronen, die sich in anderen nahen Körpern befinden, auf unserem Bilde also auf die Elektronen, die mit den Atomen der Erdoberfläche und denen einer zweiten Wolke verbunden sind. Die Folge ist, daß hier zahlreiche Atome die Elektronen verlieren und also positiv (+ elektrisch) erscheinen; daß von dieser Scheidung die höchsten Teile der Erdoberfläche oder der auf ihr befindlichen Gebäude, Bäume usw. am stärksten betroffen werden, ist verständlich, denn sie sind dem Einfluß jener Wolke ja am stärksten ausgesetzt. Nähert sich die Wolke, so wird der Gegensatz zwischen ihr und der positiv elektrischen Erdoberfläche immer stärker, und schließlich gleicht sich dann die ungeheure Spannung genau wie bei der Elektrisiermaschine durch überspringende Elektronen aus, deren Weg eine lange leuchtende Lichtlinie, der Blitz, bezeichnet, während der heftige Anprall und das Beiseiteschleudern der Luftteilchen als Donner hörbar wird. Natürlich kann ein ebensolcher Ausgleich, ein Überspringen von Elektronen, auch zwischen benachbarten Wolken stattfinden. Meines Dolmetschers Zeichnung zeigt ja, daß eine zweite Wolke genau so beeinflußt wird wie die Erde. Euch Menschen wird dieser Ausgleich droben am Himmel meist nur als blasser, fahler Schein bemerkbar, der über den Horizont huscht, und den ihr „Wetterleuchten" nennt. Es kommt das daher, daß Entladungen zwischen Wolken meist nur stattfinden, wenn die Entfernung der Wolken von der Erde noch sehr groß ist, und so habt ihr diesmal mit dem Namen wirklich das Richtige getroffen, denn es ist ein fernes Wetter, das da zu euch hernieder leuchtet.

Aus diesen Darlegungen geht hervor, daß wir vollkommen schuldlos sind, wenn etwa der Blitz einen Menschen erschlägt Wir sausen hilflos unseren Weg und können nicht um den kleinsten Betrag nach rechts und links abweichen. So haben wir schon manchen Menschen töten müssen, und gerade in jener Zeit, von der ich hier spreche, kam so ein Fall vor, der uns allen besonders wehe tat.

Die Menschen waren nämlich gerade darauf aufmerksam geworden, daß der Blitz und der mit der Elektrisiermaschine erzeugte Funke sich doch merkwürdig ähnlich seien. Und neugierig, wie sie immer gewesen sind, fingen sie gleich an, der Sache nachzugehen. Da war einer, der ließ, als einst ein Gewitter herannahte, einen Flugdrachen in die Luft steigen (Abb. 11) und versuchte, aus der Schnur, an der er das Ding hielt, Funken zu ziehen. Sobald die Schnur im Regen feucht geworden war und uns infolgedessen — (Wasser ist ein Leiter für uns!) — einen bequemen Weg bot, ging das vortrefflich. Dieser Mann verfiel dann später darauf, die

hohen Häuser der Menschen mit spitzen Metallstangen zu versehen, von denen starke Drähte mit großen Metallplatten am Ende in die Erde führten. Das war klug, denn ein solcher Drahtweg war für uns sehr leicht gangbar. Die Elektronen sprangen dann bei einem Gewitter viel lieber von der Wolke auf die Metallstangen über und sausten die Drahtleitung zur Erde hinab. Die so geschützten Gebäude wurden also nicht mehr vom Blitzstrahl beschädigt, und das bezweckten die Menschen mit der neuen Einrichtung (Abb. 12) auch.

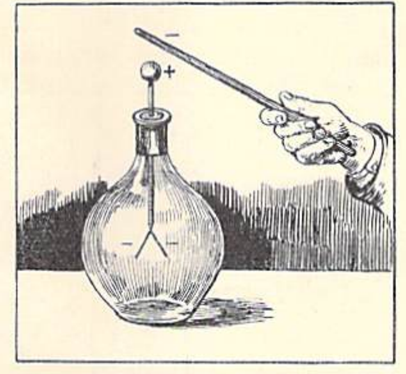


Abb. 13. Die Wirkungsweise des Elektroskops. Die auf und in der genäherten Kautschukstange sitzenden freien Elektronen jagen ihre Kameraden aus der Metallkugel und dem Metallstab in die Blättchen am unteren Ende. Die beiden Blättchen spreizen sich, da sich die darin befindlichen Elektronen wiederum gegenseitig abstoßen. Die Kugel hat keine freien Elektronen mehr, ist also für uns positiv elektrisch.

Kurze Zeit, bevor man so weit war, kam nun der Unfall vor, von dem ich sprach. Da war ein sehr wagemutiger Forscher, der durchaus die Erscheinung des Blitzes näher studieren wollte. Er hatte davon gehört, daß man die Blitze mit Hilfe einer Metallstange auffangen könnte, aber er wußte nichts von der Notwendigkeit einer guten Ableitung zur Erde. So führte er denn eine eiserne Stange durch das Hausdach in sein Zimmer und ließ sie dort hoch über dem Boden enden. Sobald ein Gewitter heraufzog, ging er an die Stange heran, um zu sehen, ob da etwas zu beobachten sei. Und nun geschah das Entsetzliche, Grausige, an das ich immer zurückdenken muß. Wir wurden aus einer Wolke, in der wir saßen, auf die eiserne Stange geschleudert, sausten an ihr hinab und fanden den Weg versperrt. Nur der Kopf der Forschers war in der Nähe, und sein Körper stellte die Verbindung mit der Erde her. Da blieb uns unter dem Aufprall der anderen Elektronen, die hinter uns hergesaust kamen, nichts anderes übrig, als loszuspringen in den Kopf hinein. Natürlich ging das alles viel schneller, als ich es hier beschreiben kann, und der unglückliche Mensch stürzte im gleichen Augenblick tot zu Boden. Nachher hörten wir, daß das viele Leute abgeschreckt habe, unseren Spuren weiter nachzuforschen, und doch waren wir wirklich ganz schuldlos an der Geschichte, die nur durch die Unvorsichtigkeit jenes Menschen so unglücklich ausgegangen war.

Zum Abschluß dieses Kapitels will ich nun schnell noch von zwei Apparaten sprechen, die die Menschen damals ebenfalls häufig benutzten, um mit uns zu experimentieren, und die sie **Elektroskop** und **Elektrophor** benannten. Das Elektroskop diente, wie dem Kundigen schon der griechische Name sagt, dazu, elektrische Ladungen sichtbar zu machen. Der Elektrophor aber war ein Vorläufer der Elektrisiermaschine, eine Art Zwischenstation zwischen dem Reiben von Stoffen mit der Hand und durch mechanische Mittel.

Was wir im Elektroskop (Abb. 13) zu tun hatten, ist schnell erklärt. Das ganze Instrument bestand in seiner einfachsten Form aus einer in einem Glase befestigten Metallstange, an deren unterem Ende zwei lange schmale bewegliche Stroh- oder Papierblättchen hingen, während das obere kugelig geformt war. Wollte man eine elektrische Ladung in einem Körper nachweisen, so brauchte man ihn nur dem freien Ende der Stange zu nähern. War eine Ladung da, so trat in den leitenden Teilen des Elektroskops sofort die uns wohlbekannte Trennung der Atome und Elektronen und die entsprechende Abstoßung auf. Die abgestoßenen Elektronen krochen durch den Metallstab und weiter in die beweglichen Blättchen hinein. Da sich die Elektronen in den beiden Blättchen natürlich auch abstießen, mußten die Blättchen diesem Bestreben folgen. Sie spreizten sich also voneinander weg, und zwar um so stärker, je stärker ihre Ladung war. Sobald die Menschen diesen Zusammenhang zwischen der Stärke der Ladung (d. h. der Menge der in den Blättchen befindlichen freien Elektronen) und der Weite des Ausschlags der Blättchen bemerkten, stellten sie gleich ein Papierblatt mit Teilstrichen hinter den Blättchen auf und nannten das Instrument nun **Elektrometer**, also Elektrizitätsmesser, weil sie damit jetzt die Stärke elektrischer Ladungen zahlenmäßig ermitteln, d. h. messen konnten.

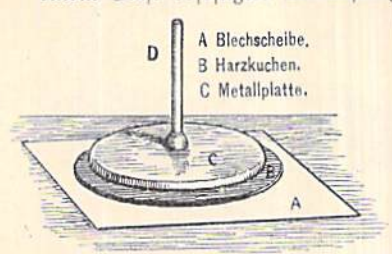


Abb. 14. Der Elektrophor.

Natürlich zeigt das Elektroskop auch das Vorhandensein von elektronenfreien Atomen, d. h. positive elektrische Ladung an. Man braucht sich die Vorzeichen in unserer kleinen Zeichnung nur umgekehrt zu denken, um sofort die richtige Anschauung von den dann stattfindenden Vorgängen zu bekommen. Da es sich hier im wesentlichen um die gleiche Geschichte wie vorher handelt, kann ich mir weitere Erläuterungen sparen.

Der Elektrophor ist, wie ich schon sagte, ein einfaches Hilfsmittel zur Erzeugung stärkerer elektrischer Ladungen, das ihr heute kaum mehr anwendet, weil die Elektrisiermaschine bequemer ist, das aber doch Interesse verdient, weil es in der Geschichte unserer Entdeckung immerhin eine Rolle spielte. Ich muß noch lachen, wenn ich an dieses seltsame Ding denke (Abb. 14), das aus einem Harzkuchen (B) auf einer metallischen Unterlage (A) und einem Metalldeckel (C) mit gläsernem Griff (D) bestand, und das die Forscher jener Zeit mit einem Fuchsschwanz oder sonst einem Stück Fell peitschten und rieben. Es war zu komisch, die Leute mit ernsten Gesichtern um den Harzkuchen herumstehen zu sehen und die

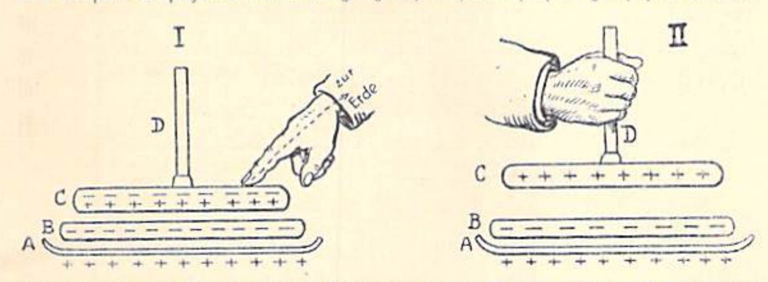


Abb. 15. Die Wirkungsweise des Elektrophors. A Metallunterlage; B Harzkuchen; C Metallplatte an dem nichtleitenden Griff D. I Die abgestoßenen Elektronen werden durch Auflegen des Fingers auf C zur Erde abgeleitet. II Der Deckel C ist positiv elektrisch und seine Ladung kann zu Versuchen benutzt werden.

Spannung zu beobachten, die sich in ihren Zügen ausdrückte, ob wohl der Versuch gelingen würde oder nicht. Aber er gelang immer, wenn man ihn richtig anstellte, denn es kamen dabei nur die gleichen einfachen Erscheinungen der Trennung und Abstoßung in Frage, von denen wir in diesem Kapitel schon so häufig hörten. Wenn nämlich der Harzkuchen mit dem Fell gerieben oder gepeitscht wurde, traten freie Elektronen aus dem Fell auf ihn über und machten ihn negativ elektrisch. Setzte man dann den Metalldeckel auf, so trat bei dessen Atomen die uns bekannte Spaltung ein, und deren Elektronen flohen auf die dem Harzkuchen abgekehrte Seite, d. h. so weit wie möglich von ihren Kameraden fort. Berührte man darauf die Oberseite des Deckels mit dem Finger (Abb. 15 I), so benutzten die Elektronen schleunigst diese Gelegenheit und entwischten in die Erde. Der Deckel erschien also positiv elektrisch, und seine Ladung konnte, wenn man ihn abhob (Abb. 15 II), zu irgendwelchen Versuchen benutzt werden. Nahmen bei diesen Versuchen die positiven Atome freie Elektronen auf, neutralisierten sie sich also wieder, so konnte die Geschichte von neuem

losgehen, denn man brauchte den Deckel nur auf den Harzkuchen zu setzen, um gleich wieder die Scheidung herbeizuführen und nach dem Berühren mit dem Finger eine neue elektrische Ladung zur Hand zu haben. Gerade diese Unerschöpflichkeit machte den Leuten das meiste Vergnügen, aber auch die meiste Beschwer, denn sie konnten sich einfach nicht erklären, woher denn immer wieder die scheinbar neue elektrische Ladung kam, weil sie von unserem Dasein und unserem wechselnden Spiel mit den Atomen nichts wußten und ahnten.

Doch nun genug von diesen einfachen Dingen, die immer die gleiche Ursache haben, und die nur in den Wirkungen verschieden sind. Ich würde gar nicht so ausführlich von all diesen Apparaten und Instrumenten erzählen, wenn nicht mein Dolmetsch betonte, daß euch diese Grunderscheinungen besonders interessierten und daß es Leser gäbe, die über die Lückenhaftigkeit meiner Aufzeichnungen schimpfen würden, wenn ich z. B. das Elektroskop nicht schildere. Jetzt aber will ich endlich ein neues Kapitel beginnen, und darin möchte ich erzählen, wie wir einst „beinahe" entdeckt wurden, und wie es dann doch nichts damit war.

III. Kapitel.

Nahe am Ziel.

1859 untersuchte der Bonner Physiker Julius Plücker die Entladungserscheinungen hochgespannter Ströme in einer nahezu luftleeren Röhre. Er entdeckte dabei eigentümliche neue Strahlen, die durch einen Magneten ablenkbar waren, und die später Kathodenstrahlen genannt wurden. Plückers Versuche fanden nur geringe Beachtung. 1869 wiederholte sie Joh. Wilh. Hittorf, ebenfalls ein Deutscher, und stellte dabei fest, daß die Kathodenstrahlen sich durch feste Körper aufhalten ließen, wobei Schattenbilder entstanden. Auch Hittorfs Versuche gerieten in Vergessenheit. Erst als 1879 der Engländer William Crookes auf dem gleichen Gebiet arbeitete, die früheren Versuche wiederholte, dazu noch fand, daß die Kathodenstrahlen ein kleines Rädchen (Radiometer) trieben, also mechanische Wirkungen ausübten, und als er im Anschluß an diese Untersuchungen von einem vierten Aggregatzustand, dem der „strahlenden Materie", sprach, wurde man aufmerksam. Nun folgten die Beobachtungen schnell aufeinander, und 1883 entwickelte Hendrik Anton Lorentz in Leiden eine mathematisch begründete Theorie, nach der die strahlende Materie Crookes' aus nicht stofflichen Teilchen bestehen sollte, die Lorentz sich als elektrische Elementarquanten, kleinste Elektrizitätseinheiten, dachte. Er verwarf den Namen „Korpuskeln", den J. J. Thomson für die Strahlenteilchen Crookes' eingeführt hatte, weil er an stoffliche Teilchen erinnere und schlug den Namen „Elektronen" für die Elektrizitätseinheiten vor, der von Stoney (1881) herrührte. Die Lorentzsche Theorie, die auch das Licht als eine elektrische Erscheinung ansprach, fand zunächst den Beifall der Zeitgenossen nicht, da sie allzustark mit Hypothesen zu arbeiten schien, bis es dann 1895 Pieter Zeemann gelang, das tatsächliche Vorhandensein von Elektronen in den Flammen nachzuweisen. Von da ab folgten weitere experimentelle Beweise schnell aufeinander, so daß heute die Lorentzsche Theorie, die vielfach ausgebaut wurde, im allgemeinen als richtig gelten kann.

Aus den paar Episoden, die ich euch bisher schilderte, werdet ihr schon entnommen haben, daß die Menschen den elektrischen Erscheinungen große Beachtung schenkten und daß sie gar zu gern hinter alle diese wunderbaren Dinge gekommen wären. Aber von unserem Dasein hatten sie noch immer keine Ahnung, obwohl sie gelernt hatten, zahlreiche neue Apparate herzustellen, mit denen sie wieder allerlei Versuche machen konnten. Bei einem solchen Versuch erhielten sie die erste bestimmte Kenntnis von unserem Dasein. Ich weiß noch gut, wie alles war, gerade als ob es

erst heute passiert wäre. Ein Mensch jagte uns Elektronen von dem Konduktor einer Elektrisiermaschine durch einen kurzen Draht in eine völlig geschlossene gläserne Röhre, in die der Draht hineinragte. Als ich mich umsah, bemerkte ich, daß die Röhre nahezu luftleer war, und daß am andern Ende ein gleicher Draht wie der, auf dem wir saßen, hervorragte, der hinab zur Erde zu führen schien. Ich dachte mir gleich, daß der Forscher die Absicht hatte, uns von dem einen Draht auf den anderen springen zu lassen, um zu sehen, was dabei vorgehen würde. Und plötzlich fühlte ich auch, wie von hinten her neuer Zuzug kam, so daß es bedenklich eng in

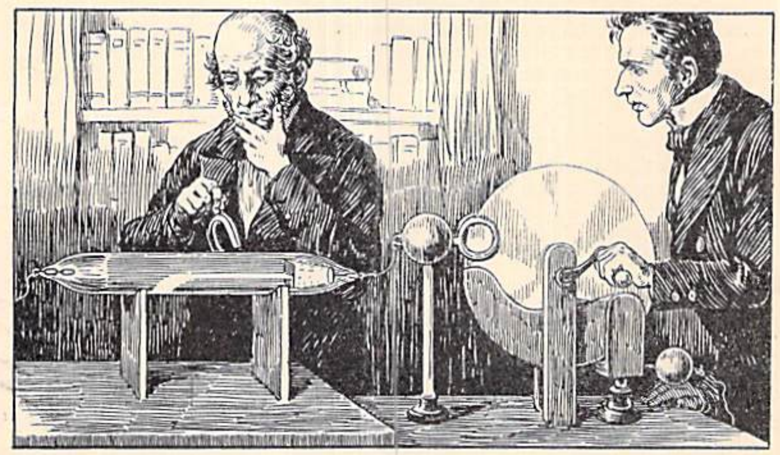


Abb. 16. Der Elektronenstrom (die „Kathodenstrahlen") in einer luftleeren Röhre wird durch einen Magneten von seiner geraden Bahn abgelenkt.

unserem Drahtstück wurde. Die Maschine arbeitete wie toll, und immer neue Elektronen kamen zu uns herauf, in der Hoffnung, den ewigen Störungen zu entgehen. Bald war das Gedränge so fürchterlich, daß wir vorderen uns nicht mehr halten konnten. Ich maß noch einmal die Entfernung bis zum anderen Draht, und dann setzte ich zum Sprunge an, mit mir natürlich eine ganze Menge meiner Kameraden. Es ging durch den luftleeren Raum. Die Luft, die uns sonst so großen Widerstand entgegensetzt, daß wir sie erst mühsam beiseiteschleudern müssen, hinderte uns diesmal nicht, und so gelang uns der Sprung ganz merkwürdig leicht. Wie aus einer Pistole geschossen sausten wir vorwärts und faßten auch drüben richtig Fuß. Unser Beispiel aber hatte auf die anderen aufmunternd gewirkt, denn nun ging ein ununterbrochener Elektronen-

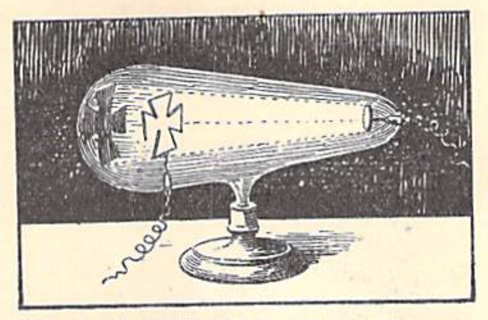


Abb. 17. Versuch über die geradlinige Fortpflanzung der Elektronen (Kathodenstrahlen). Die hinter dem Glimmerkreuz liegende Fläche erscheint dunkel, weil die Elektronen durch das Kreuz aufgehalten werden.

strom von einem Ende der Röhre zum andern. Wir mußten wieder von unserem Platze weg und wurden hinausgedrückt, kamen glücklich zur Erde hinab, da der Mensch für einen bequemen Weg gesorgt hatte, und saßen nun unten, um zuzuschauen. Da hörte ich, wie der Forscher zu einem Mann, der bei ihm stand, sagte, er glaube, daß durch die Röhre kleine Teilchen flögen. Das war ein Hallo bei uns, als ich die Nachricht weitergab, und schon erzählte man überall, wir seien endlich entdeckt. Aber der Jubel kam zu früh, denn der Forscher hatte Stoffteilchen gemeint und verkündete triumphierend, er habe einen neuen strahlenden Zustand des Stoffes entdeckt. Hätte der Mann doch nur eine kleine Ahnung von unserem Wesen gehabt! Uns mit plumpen Atomen des Stoffes zu verwechseln! Uns mit diesen klotzigen Kerlen, die uns doch nur eine Art Wohnung bieten, in eine Reihe zu stellen! Das hätten wir nie von den Menschen erwartet, und unsere Freude schlug in grenzenlose Enttäuschung um. Kein Atom kann sich mit der Geschwindigkeit bewegen, wie wir sie besitzen, denn wir durchkreuzen diese luftleeren Röhren mit einer Schnelligkeit, die sich nach vielen Millionen Meilen in der Minute bemißt. Wir sind viel kleiner und zierlicher wie die plumpen Teile des Stoffes. Wie konnte man nur auf den Gedanken kommen, uns damit zu vergleichen?

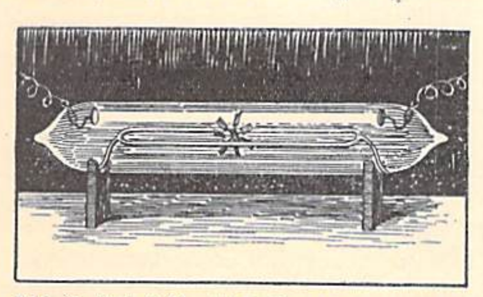


Abb. 18. Versuch über die Drehung eines beweglichen Rädchens durch den Aufprall der Elektronen.

Schließlich trösteten wir uns jedoch wieder über die Dummheit der Menschen und hofften, daß sie schließlich doch noch zur richtigen Einsicht kommen würden. So sprangen wir nach wie vor durch diese luftleeren Röhren

und taten, was man nur von uns wünschte. Da war einer, der brachte von außen einen Magnetstab an eine Röhre, in der wir gerade unsere Sprünge machten (Abb. 16). In so einem Magneten befinden sich — wie wir noch hören werden — auch Elektronen, die ganz bestimmte Bahnen um ihre Atome beschreiben und dadurch den Zustand hervorrufen, den ihr Menschen „Magnetismus" nennt. Als man also den Magnetstab näherte, suchten wir uns natürlich von den darin befindlichen Elektronen so weit wie möglich zu entfernen. So sprangen wir jetzt nicht mehr geradeaus, sondern schief nach unten gegen die Wandung der Röhre, und das verzeichnete der Forscher mit großem Behagen als eine ganz neue Entdekkung. Ein zweiter Forscher hatte ein kreuzförmiges Glimmerstück in der Mitte der Röhre, in die er uns dann schickte, angebracht (Abb. 17). Wenn wir sprangen, prallte ein großer Teil von uns immer gegen die Glimmerflächen, durch die man nicht sofort einen Ausweg fand. Die Elektronen aber, die an dem Kreuz vorbeikamen, ließen durch ihren Aufprall die Glaswand der Röhre in einem leichten grünlichen Schimmer erstrahlen, und darin hob sich jener elektronenfreie Röhrenraum, der durch das Kreuz gedeckt wurde, als dunkles Schattenkreuz ab.

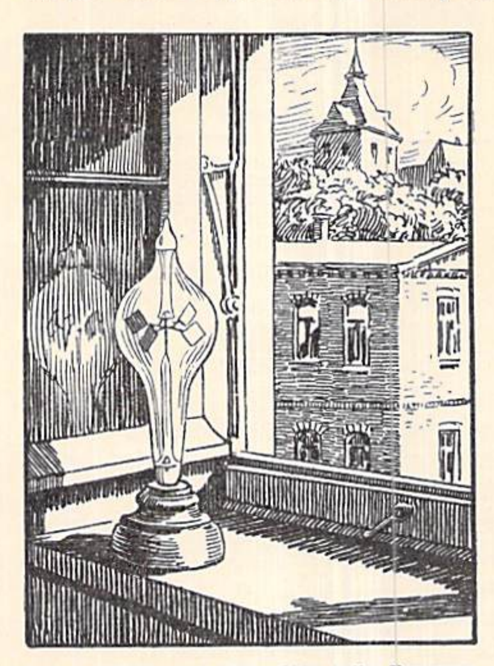


Abb. 19. Radiometer (Lichtmühle), dessen Bewegung man zur Erklärung der in Abb. 18 dargestellten Raddrehung durch Elektronen herangezogen hat.

Ein anderer Forscher kam später auf den Gedanken, an Stelle des Kreuzes ein kleines bewegliches Rädchen mit breiten Schaufeln anzubringen (Abb. 18). Bei unseren Sprüngen prallten wir gegen diese Schaufeln und versetzten ihnen so heftige Stöße, daß das ganze Rädchen sich zu drehen

anfing, genau wie die Windmühlenflügel beim Ausstoßen des Windes.*) Merkwürdigerweise bestärkten diese Erscheinungen die Menschen immer mehr in ihrem Wahn, daß wir Stoffteilchen seien, und um diese Zeit gab man uns den Namen „Korpuskeln", den man von einer abgelegten früheren Theorie, die auch von Stoffteilchen handelte, noch auf Lager hatte. Wir aber mochten von so altem Kram nichts wissen, und deshalb sahen wir diesen Ausdruck immer als einen Spottnamen an, den wir haßten.

Doch schon bald darauf wurden wir durch neue Nachrichten auf das freudigste überrascht. Ein sehr kluger Forscher sollte kühn erklärt haben, die Teilchen in der Röhre hätten gar nichts mit der Materie zu tun. Das seien winzige kleine Elektrizitätsteilchen, etwas, was sonst seinesgleichen nicht habe, und die Bewegung und Drehung dieser unbekannten Teilchen erzeuge sowohl die elektrischen Ströme wie auch das Licht. Natürlich jubelten wir diesem Manne zu, der unser Wesen wenigstens einigermaßen erkannt hatte, denn er riet nicht nur ins Blaue hinein, sondern bewies durch mathematische Rechnungen, daß alles wirklich so sei, wie er sagte. Hätten doch die Menschen hier jetzt nur etwas Verständnis gezeigt! Aber sie schüttelten bedenklich die Köpfe, daß ihnen die alten Zöpfe wackelten, und meinten, mit Zahlen ließe sich alles beweisen, die Geschichte stimme sicher nicht.

Nur ganz wenige waren vernünftiger als die Menge. Und diese wenigen

---

*) Eine andere Erklärung dieser Erscheinung leugnet die direkte mechanische Einwirkung der Elektronen und behauptet, die Drehung des beweglichen Rädchens hinge mit der einseitigen Erwärmung der Schaufeln durch die aufprallenden Elektronen zusammen. Dadurch komme ein Rückstoß (Reaktionsdruck) zustande, ähnlich wie bei den bekannten Lichtmühlen oder Radiometern (Abb. 19), die aus einem mit stark verdünnter Luft gefüllten Glasgefäß bestehen, in dem ein Kreuz aus feinem Draht so angebracht ist, daß es sich in wagrechter Ebene um eine senkrechte Achse drehen kann. An den Enden der Arme des Kreuzes sitzen Glimmerblättchen, deren Ebenen durch die Achse gehen. Die eine Seite jedes Glimmerblättchens ist leicht berußt, und zwar liegen die berußten Seiten alle nach der gleichen Drehrichtung. Fällt Sonnenlicht auf das Instrument, so dreht sich das Kreuz, und zwar so, daß die blanken Flächen immer voran sind. Man erklärt diese Drehung dadurch, daß man annimmt, die Moleküle der Luft im Innern des Glases seien in fortwährender geradliniger Bewegung (wie alle Gasmoleküle) begriffen. Die berußten Flächen würden stärker erwärmt, infolgedessen kehrten die Gasmoleküle, die diese Flächen treffen, mit größerer Geschwindigkeit um, erzeugten also auch einen größeren Rückstoß als diejenigen, die die blanken Flächen treffen.

suchten nun Tag und Nacht nach wirklichen Beweisen für unser Dasein, das sie ahnten und vermuteten. Besonders war da einer, der sich einen furchtbar verzwickten Versuch ausgedacht hatte, um uns in einer Gasflamme zu entdecken. Das mag euch auf den ersten Augenblick unverständlich erscheinen, aber unsere Arbeit hängt wirklich mit dem Leuchten der Flammen, mit der Entstehung der Lichtstrahlen eng zusammen, und deshalb ist die Sache schon richtig. Zwar suchte der Forscher nicht eigentlich nach uns, sondern er wollte sich über die elektrische Natur der Flammen klar werden, und bei dieser Gelegenheit entdeckte er uns dann. Wie das im einzelnen geschah, kann ich euch erst später erzählen, wenn ich euch gesagt habe, wie wir das erzeugen, was ihr „Licht" nennt. Hier will ich jetzt zuerst von elektrischen Strömen berichten, die man bereits lange vor diesen Versuchen entdeckt hatte, und in denen man uns zu richtiger Fronarbeit zwang. Erwähnt sei aber noch schnell, daß man uns infolge der neuen Entdeckungen den Namen „Elektronen" gab, einen Namen, der auf unser Wesen paßte, und der uns deshalb recht gut gefiel.

IV. Kapitel.

Wir müssen marschieren.

Im Jahre 1800 gelang es dem italienischen Physiker Alessandro Volta — angeregt durch Luigi Galvanis Entdeckung vermeintlicher tierischer Elektrizität in dem Schenkel eines enthäuteten Frosches (1790) —, einen neuen Weg zur Erzeugung elektrischer Ströme zu finden. Er stellte eine Kupfer- und eine Zinkplatte in ein Gefäß mit angesäuertem Wasser und verband beide Platten durch einen Kupferdraht miteinander. In diesen Draht floß dann ein elektrischer Strom vom Zink zum Kupfer, der in der Flüssigkeit vom Kupfer zum Zink ging. Aus Voltas „Becherapparat" entstanden unsere heutigen galvanischen Elemente und Batterien, bei denen allerdings vielfach andere Metalle (statt Kupfer auch oft Kohle) und andere Säuren verwendet werden. In dem elektrischen Strom, den diese Elemente liefern, erblicken wir jetzt eine Wanderung der durch die Zersetzung der Metalle (Elektroden) in der Säure (Elektrolyt) frei werdenden Elektronen den Draht entlang. Wenn diese Zersetzung dauernd vor sich gehen soll, ist eine geschlossene Leitung, ein sogenannter Strom k r e i s, unbedingt erforderlich. Dieser Stromkreis kann durch einen Verbindungsdraht hergestellt werden. Er ist aber auch vorhanden, wenn man die Drähte von den Elektroden in die Erde führt, da dann die Erde als Rückleitung dient. Die erste Anwendung der Erdleitung für den elektrischen Strom verdanken wir K. A. Steinheil in München, der sie 1838 in der Telegraphie benutzte.

Die Metalle leiten den elektrischen Strom verschieden gut. Die ersten Untersuchungen stellte darüber Georg Simon Ohm im Jahre 1826 an.

Eines Tages — es ist schon lange her — kamen meine Brüder zu mir und erzählten, daß der Mensch sie jetzt regelrecht marschieren ließe. Weiß der Teufel, wie sich die Forscher wieder dieses neue Mittel ausgedacht hatten, uns herumzuhetzen. Früher hatte man nie etwas von solchen regelmäßigen Märschen gehört. Es war eine ganz neue Erfindung, die man da plötzlich aufbrachte. Aufregend war die Geschichte nicht, aber dafür sehr langweilig, und das schien uns gerade kein besonderer Vorzug. Wir mußten zu vielen in einem Kupferdraht in bestimmter Richtung zwischen den einzelnen Kupferatomen durchkriechen, und das nannte der Mensch, der dabeisaß und uns zusah, einen elektrischen Strom. Diese Geschichte passierte lange vor den Entdeckungen, von denen ich im vorigen Kapitel berichtete, und deshalb brauche ich wohl nicht erst zu sagen,

daß der Mensch, der diesen Strom da entdeckte, noch keine Ahnung von unserem Dasein hatte. Er war nur durch gewisse, früher beobachtete Erscheinungen, bei denen zwei verschiedenartige Metalle und eine feuchte Zwischenschicht eine Rolle spielten, darauf verfallen, eine Kupfer- und eine Zinkplatte in einen Becher mit sauergemachtem Wasser zu stellen, um zu sehen, was dann vor sich gehen würde (Abb. 20). Anfänglich passierte nichts. Als er aber die beiden Metallplatten durch einen Draht verband, ging die Rennerei los, von der ich oben sprach und die der Mensch als elektrischen Strom beschrieb. Den tatsächlichen Vorgang erkannte man natürlich damals noch nicht, der ist erst viel später ausgeklügelt worden. Und doch

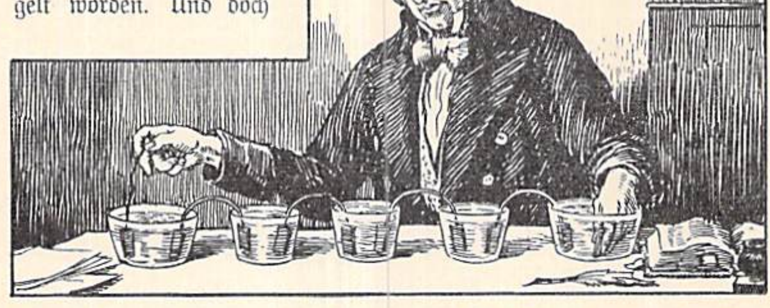


Abb. 20. Der Voltasche Becher- oder Tassenapparat, die Urform unserer galvanischen Elemente: je eine Kupfer- und Zinkplatte in angesäuertem Wasser. Der Strom wird auf unserer Abbildung durch den Körper des Experimentierenden geschlossen.

war die Geschichte einfach genug. In der Säurelösung lösten sich die Metallplatten auf, sie zersetzten sich, wie eure Forscher sagen. Atome des Metalls lösten sich los und schlossen sich an andere und an Moleküle der Säure an; es bildeten sich Gruppen neuer Moleküle von Salzen, und bei all diesen Vorgängen wurden Unmengen von Elektronen frei. Sie sammelten sich auf der Zinkplatte, immer mehr kamen dort zusammen, und als schließlich das Gedränge zu groß wurde, hieß es Platz machen und auswandern, wie immer. Der Verbindungsdraht zum Kupfer war der einzige Weg, den es für uns gab, durch den marschierten wir hindurch. Der Drahtweg führte uns auf die Kupferplatte zurück, und von dort wurden wir durch die gleichen Zerfallsprozesse aufs neue in die Lösung hineingedrängt, in der die neutralen Atome zerfielen und Elektronen freigaben, solange das

Element in Tätigkeit war. Der Forscher, der uns zusah, versuchte uns damit zu ärgern, daß er den Drahtweg verlängerte. Vermutlich glaubte er, wir würden auf diesem Marsche müde werden und stehenbleiben. Aber er hatte ja keine Ahnung von unserem wahren Wesen, sonst wäre er nicht auf solche Dummheiten verfallen. Unsertwegen konnte die Leitung so lang sein, wie sie wollte, wir marschierten unverdrossen drauf los, denn wir wurden ja förmlich geschoben und getragen von den neuen Elektronen, die durch die arbeitende Batterie in den Draht emporgejagt wurden.

Man darf aber ja nicht glauben, daß wir durch diese Drähte mit unserer üblichen Schnelligkeit liefen. Durch den luftleeren Raum rasen wir förmlich, und durch die Luft wissen wir uns mit gewaltigen Rucken, uns plötzlich losreißend, den Weg zu bahnen. Aber in den Drähten ist es anders. Da könnte man eher schon von einem Schneckentempo reden, so langsam kriechen wir da. Das ist verständlich, wenn man bedenkt, daß die Atome für uns zwar große Gebäude darstellen, durch deren Lücken und Löcher wir wandern können, daß aber die einzelnen Atome in den Metallstücken so eng geschachtelt sind, daß jedes nächste Atom den Weg geradezu versperrt, so daß wir uns erst immer wieder einen Durchgang suchen müssen. Am leichtesten geht das noch beim Silber, denn dort liegen die Atome noch ziemlich weit auseinander, dann kommt das Kupfer, da geht die Reise schon langsamer, und dann folgen in großen Abständen die übrigen Metalle, wie Aluminium, Zink, Eisen, Blei usw. Je tiefer man in dieser Reihe heruntersteigt, desto dichter liegen die Atome, und desto schwerer wird uns der Durchgang. Die Menschen haben die Metalle hübsch in eine Reihe geordnet und sagen dann, dieses oder jenes Metall leistet dem Strom soundsoviel Widerstand. Aber das ist natürlich schlecht ausgedrückt, denn Widerstand leistet uns kein Metall. Es handelt sich nur um das mehr oder minder dichte Gefüge und die daraus sich ergebende Langsamkeit unserer Bewegung.

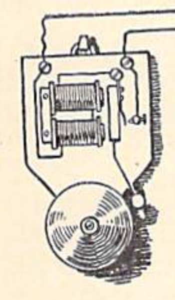
Die geringe Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den Drähten, die ich da behaupte, wird vielleicht manchem meiner Leser unglaublich erscheinen, wenn er an die Tätigkeit der elektrischen Glocken denkt, die sich ja heute bald in jedem Hause finden. Man drückt unten an der Haustüre den Knopf, und im gleichen Augenblick schlägt oben die Klingel an, die einen dienstbaren Geist zum Öffnen ruft (Abb. 21). Liegt denn darin nicht der direkte Beweis für die Unrichtigkeit meiner Behauptung?

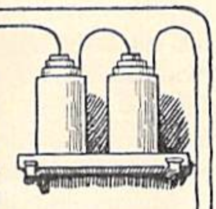
Aber ich habe doch recht, und ich kann auch mit wenigen Worten den Widerspruch aufklären. Im Grunde ist nämlich immer ein ganzes

Regiment von uns auf dem Marsche. Von dem Druckknopf bis zur Klingel sitzen wir Elektronen eng aneinandergeschmiegt in dem Draht. Sowie nun unten durch den Druck auf den Knopf die Batterie eingeschaltet wird, kommen die Elektronen vom Zink herauf und schieben die ganze Gesellschaft oer Drahtelektronen wie einen langen Stab vor sich her, und im gleichen Augenblick tritt die Wirkung ein: die Glocke ertönt. Ich glaube, daß es für euch sehr schwer sein wird, von diesen Dingen eine richtige Vorstellung zu gewinnen, aber vielleicht geht es doch, wenn ich einmal ein euch vertrautes Bild benutze: Wenn ich in ein Rohr, das ganz voll von Wasser ist, an dem einen Ende etwas Wasser zulaufen lasse, so tritt im gleichen Augenblick aus dem anderen Ende ebensoviel aus. Natürlich ist das nicht das gleiche Wasser, das aus dem Wasserleitungshahn zufloß, sondern solches, das schon an dem offenen Ende des Rohres lag. So haben sich also nicht die Wasserteilchen so rasch ausgebreitet, sondern nur der Bewegungszustand. Und ebenso ist es mit den Elektronen, deren Bewegungszustand im Draht das bildet, was ihr Menschen elektrischen Strom bennent. Daß dabei dann natürlich die Länge des Drahtes für die Fortpflanzung der Bewegung keine Rolle spielt, leuchtet wohl jedem von euch ohne weiteres ein. Der ganze Weg, der zurückzulegen ist, ist eigentlich ja nur das Stückchen Raum zwischen zwei benachbarten Elektronen, und das ist so winzig, daß es völlig vernachlässigt werden kann. So ertönt also die Klingel droben zugleich mit dem Druck dort unten, trotzdem wir nur einen ganz kurzen Ruck vollführen. Und das ganze Geheimnis liegt in unserer Menge, die die ganze Länge des Drahtes besetzt hält.

Auf welche Weise wir eine elektrische Glocke zum Tönen bringen, werde ich vielleicht ein andermal schildern. Diesmal liegt mir nur daran, euch eine richtige Vorstellung von den Vorgängen im Stromkreis zu geben.

Dazu muß ich nun noch ein paar Worte über die Notwendigkeit einer vollständigen Verbindung zwischen den Elektroden eines Elements (so nennt ihr Menschen die beiden Metallplatten, die sich dort gegenüberstehen) sagen. Nur wenn eine solche Verbindung vorhanden ist, kann ein Strom entstehen. Ich habe oft gehört, wie sich die Leute im Anfang wunderten, daß sie keinen Strom erhielten, wenn der Stromkreis unterbrochen war. Kann man denn etwas anderes erwarten? Können die Menschen gehen, wenn ihre Straße aufgerissen ist? Müssen sie nicht erst Brücken bauen, wenn sie vor einem Abgrund stehen? Und ist das nicht das gleiche, als wenn bei einem Element der Draht durchschnitten





wird, in dem wir gerade marschieren? Die Ursache unseres Marsches, also des Stromes, ist ja die, daß wir dem Gedränge der Elektronen auf dem Zink entkommen wollen. Die Atome des Drahtes sind dabei die Brückenglieder, und wenn man die Brücke zerstört, sind wir geradezu hilflos. Man wird mir vielleicht entgegenhalten, daß wir doch den Luftzwischenraum als Funken überspringen könnten. Freilich, der Mensch kann sich auch durch eine starke Kraft über einen Abgrund hinüberschleudern lassen und wir tun das ja auch. Aber bei Funkensprüngen treibt uns ein vieltausendmal stärkerer Druck als der in den Elementen, und deshalb kann von solchen Sprüngen hier gar keine Rede sein.

Wenn wir durch den Zersetzungsprozeß im Element frei werden, hätten wir am liebsten einen recht kurzen und breiten Weg zum Kupfer, um uns dort wieder mit elektronenarmen Atomen zu vereinigen und so zur Ruhe zu kommen. Gönnt man uns den kurzen Weg nicht und gibt man uns statt dessen einen langen Draht, so ist das nicht zu ändern, und wir marschieren doch lustig drauflos. Unterbricht man aber den Weg an einer Stelle, so ist die Wanderung aus, und wir häufen uns dann in solchen Mengen auf dem Zink an, daß wir schließlich in einer dicken Schicht darüber sitzen und jede Berührung mit der Flüssigkeit, also auch jede Zersetzung und jede Stromerzeugung aufheben.

Übrigens kann der Mensch uns auch statt eines geschlossenen Drahtkreises einen Weg durch die Erde bieten, das ist uns gleich, denn dort finden wir immer Atome, die bereit sind, uns aufzunehmen. Ich habe zum Beispiel erlebt, daß wir vom Zink durch einen langen Draht, einen „Telegraphendraht“, in die Ferne und dann in die Erde gelangten. Doch ist in diesem Fall



Abb. 21. Darstellung der Schaltung einer elektrischen Klingelanlage einfachster Art.

auch ein Draht nötig, der von der Erde wieder empor zum Kupfer führt. Wenn wir dann an einem Ende der Leitung hinab in die Erde kriechen, steigt am anderen Leitungsende eine Schar freier Elektronen aus der Erde empor, und so sind immer genug unserer Brüder im Draht vorhanden, um die Bewegung im Gange zu erhalten.

Natürlich läßt uns der Mensch nicht zu seinem bloßen Vergnügen solche Märsche machen. Er hat da immer irgendeine Arbeit für uns. Bald müssen wir in einer Glocke klingeln, bald in einem Telegraphenapparat seine Zeichen wiedergeben, bald wieder im Telephon seine Sprache übertragen usw. Dafür hat er ganz vertrackte Apparate ausgesonnen, die alle auf unserer Fähigkeit beruhen, Magnetismus zu erzeugen und Magnete abzulenken. Wie das geschieht, und was das eigentlich ist, was ihr Menschen Magnetismus nennt, das will ich jetzt im nächsten Kapitel erzählen.

V. Kapitel.

Der Tanz im Eisen.

Die magnetische Kraft war schon in uralten Zeiten bekannt. Vermutlich wußte schon jener Thales von Milet (590 v. Chr.) davon, dem wir die ersten Nachrichten über elektrische Erscheinungen verdanken.

Genaueres brachte aber erst die Forschung des 19. Jahrhunderts zutage, denn 1820 entdeckte ein dänischer Gelehrter, Hans Christian Oersted, den Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus, als er beobachtete, wie ein von einem elektrischen Strom durchflossener Draht eine in der Nähe befindliche Magnetnadel ablenkte. Die Magnetnadel stellte sich quer zur Stromrichtung. .

1826 entdeckte der englische Physiker William Sturgeon, daß ein weiches Eisenstück magnetisch wird, wenn man es mit einer stromdurchflossenen Drahtspule umgibt. Nach dem Öffnen des Stromes verschwindet der Magnetismus wieder (Elektromagnet). Wird ein Stück Harteisen oder Stahl in gleicher Weise behandelt, so bleibt der Magnetismus auch nach dem Aufhören des Stromes zurück (Dauermagnet). Diese Entdeckung wurde später beim Bau von elektrischen Glocken, Telegraphen, Telephonen, Dynamomaschinen und Elektromotoren nutzbar gemacht.

Die alte Theorie des Magnetismus nimmt an, daß jedes Eisenatom von einem elektrischen Strom umkreist wird und dadurch ein winziger Magnet mit Nord- und Südpol ist. Im gewöhnlichen Eisen liegen diese Atommagnete so wirr durcheinander, daß sich ihre Kräfte aufheben oder neutralisieren. Sobald die Atome aber durch irgendeine Ursache so gedreht werden, daß alle Ströme in der gleichen Ebene rotieren, alle Nordpole also nach der einen, alle Südpole nach der anderen Richtung zeigen, werden die magnetischen Kräfte auch äußerlich sichtbar, und man spricht dann von einem Magneten.

Die Elektronentheorie des Magnetismus, die wir vor allem Professor Langevin in Paris verdanken, hat die alte Theorie nicht beiseitegeschoben, sondern sie nur ergänzt. Sie lehrt, daß die Atome aller Körper von einigen Elektronen umkreist werden wie die Sonne von den Planeten. „Wenn diese Kreise," sagt Fournier d'Albe, „nahezu in einer Ebene liegen, wie beim Sonnensystem, so sind die Körper ‚magnetisch' oder richtiger ‚paramagnetisch' wie Sauerstoff und Aluminium. Sind noch dazu die Kreise groß genug, daß sie über den Abstand der Atome einander beeinflussen, so sind die Körper ‚ferromagnetisch' wie Eisen, Kobalt und Nickel. Wenn anderseits die Kreise, die die Elektronen um dasselbe Atom beschreiben, in verschiedenen Ebenen liegen, so sind die Körper nicht paramagnetisch. Man nennt sie dann gewöhnlich ‚diamagnetisch'. Aber in Wirklichkeit sind alle Körper diamagnetisch, und der Paramagnetismus ist eine besondere Eigenschaft, die den innewohnenden Diamagnetismus der Körper maskiert. Ein permanenter Magnet ist ein paramagnetischer Körper, bei dem die Kreise der Mehrzahl der Elektronen in parallelen Ebenen liegen, mit dem gleichen Drehungssinne, und dieser Parallelismus wird erhalten durch die gegenseitige Anziehung der Kreise."

An dem unaufhörlichen Tanz, von dem ich jetzt erzählen will, habe ich selber nie teilgenommen, denn ich bin frei und kann umherschweifen, wie ich will. Aber ich habe schon viele meiner Kameraden bei diesem Tanz beobachtet, und deshalb kann ich hier doch davon plaudern. Zunächst sei gesagt, daß wir es sind, die die Kompaßnadel des Seemanns nach Norden richten, und die so dem Menschen die Möglichkeit geben, auf pfadlosem Meer seinen Weg zu finden. Ich brauche euch nicht erst zu beweisen, wie wertvoll das für euch ist. Was würdet ihr anfangen, wenn wir Elektronen plötzlich unsere Pflicht vergäßen und wenn die Nadel bald hier-, bald dorthin zeigte? Ihr wäret verloren samt euren großen Schiffen, und es wäre nur blinder Zufall, wenn ihr von einer Reise übers Meer zurück in die Heimat kämt.

Aber wir haben noch viel wichtigere Aufgaben, und davon will ich hier sprechen. Vorher jedoch muß ich euch noch eines anvertrauen. Wir Elektronen sind alle gleich, das wißt ihr bereits, aber wir haben alle verschiedene Pflichten. Es gibt freie Elektronen, zu denen ich gehöre. Wir sind bald hier, bald da am Werke, denn wir springen überall ein, wo man uns gerade braucht. Dann gibt es Elektronen, die sich in bestimmter Weise um die Atome der Stoffe drehen, gerade wie die Erde um die Sonne. Das sind die meiner Kameraden, die die Körper magnetisch erscheinen lassen. Außerdem gibt es noch Elektronen, die mit den Atomen geradezu verwachsen scheinen, von denen werdet ihr später bei der Schilderung der Entstehung des Lichts hören. Jetzt wollen wir uns die zweite Art einmal näher ansehen und ihre Arbeit etwas betrachten.

Daß ein gewöhnliches Stück Eisen kein Magnet ist, brauche ich ja nicht erst zu betonen. Und es ist auch ein Glück, daß das so ist. Wäre es anders, so möchte ich sehen, was die Menschen wohl anfangen würden. Der Hammer würde am Nagelkopf hängen bleiben und die Töpfe und Pfannen fest auf dem Herd haften. Der Schlüssel ließe sich kaum im Schlosse drehen, und die Feuerzange führe mit einem Ruck gegen den Ofenrost. Das alles wäre sicher so unpraktisch wie nur möglich, und ich glaube, es ist gut, daß es anders ist. Wir Elektronen können natürlich weder an dem einen noch an dem andern etwas ändern. Wäre alles Eisen magnetisch, so könnten wir daran nichts tun. Daß es nicht so ist, rührt einfach daher, daß die Kreise, die meine Brüder um die Atome des Eisens ziehen, nicht in einer Ebene liegen, und daß sich infolgedessen die einzelnen Wirkungen nicht addieren, sondern aufheben.

Anders wird die Sache, sobald der Mensch ein Eisenstück mit isoliertem

Draht umwickelt und einen elektrischen Strom durch den Draht schickt, oder auch nur einen stromdurchflossenen Draht über das Eisenstück hinführt. Der elektrische Strom ist ja, wie ich sagte, nichts andres als ein Marschieren freier Elektronen in bestimmter Richtung, und diese wandernden Elektronen machen den Draht, in dem sie sich bewegen, durch ihre Rotation um die eigene Achse auch zu einem Magneten, den Raum um ihn herum zu einem „magnetischen Feld", wie ihr Menschen es nennt. Dieses magnetische Feld wirkt auf die um die Eisenatome kreisenden Elektronen so ein, daß sie sich fortan alle in gleichem Sinne in einer Ebene drehen (Abb. 22), und dadurch erlangt das Eisenatom die Eigenschaft, die ihr „Magnetismus" nennt. Sie ist aber im Grunde nur die Fähigkeit, auf andere Eisenatome und die darum kreisenden Elektronen in gleicher Weise einzuwirken, und die „magnetische" Anziehung und Abstoßung sind nichts andres als die euch bekannten Eigenschaften der Elektronen und der positiven Atome selbst, von der wir schon so häufig sprachen.

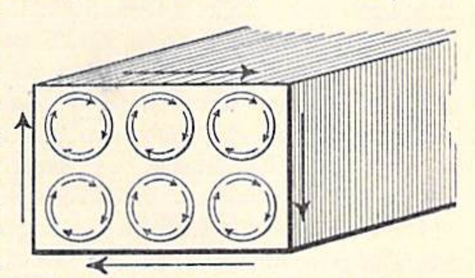


Abb. 22. Schematische Darstellung eines Dauermagnets. Die Zeichnung zeigt das eine Ende eines Eisenstabs. Die sechs kleinen Kreise veranschaulichen einige der Atome, die das Eisen zusammensetzen. Die in den Kreisen sichtbaren Pfeile geben die Richtung an, in der die kreisenden Elektronen sich um die Atome drehen. Sobald diese Drehung wie hier bei allen Atomen in gleichem Sinne und in einer Ebene erfolgt, ist der Eisenstab ein Magnet. Das „Richten" der Elektronen kann sowohl durch einen anderen Dauermagneten, den man nähert, als auch durch einen elektrischen Strom herbeigeführt werden, der den Eisenstab in der Richtung der großen Pfeile umkreist.

Hier muß ich anfügen, daß diese Umgruppierung der Drehebenen gewöhnlich nur anhält, solange der Elektronenstrom sich durch die Drahtspule bewegt. Das ist ja auch erklärlich, wenn man an die Ursache der Umgruppierung, an die Arbeit der Elektronen denkt. Die in der Drahtspule marschierenden Elektronen beeinflussen den Lauf ihrer Kameraden bei den Atomen und richten sie einander sich gleich. Die veränderte Laufebene läßt die Atome magnetisch erscheinen. Sobald aber die äußere Beeinflussung aufhört, gehen die Elektronen wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück. Auf diese Weise kann der Mensch also ein Stück Eisen nach Belieben magnetisch und unmagnetisch machen, indem er den elektrischen Strom in den umgebenden Drähten schließt oder öffnet.

Nimmt man nun statt des weichen Eisens ein Stück harten Stahles,

so wird man finden, daß die Magnetisierung viel schwerer ist und viel langsamer vor sich geht. Man kann das gut verstehen, wenn man an die Herstellung des Stahles denkt. Dabei findet eine Durchmischung des geschmolzenen weichen Eisens mit Kohlenstoff statt, der die Lücken zwischen den Eisenatomen ausfüllt und dem ganzen Eisenblock nach dem Erstarren größere Festigkeit verleiht. Der größere Widerstand, den die Stahlatome der Magnetisierung entgegensetzen, erklärt sich also zwanglos dadurch, daß deren Elektronen sich viel schwerer aus ihrer ursprünglichen Lage herausdrehen und neu gruppieren lassen, weil die die Zwischenräume füllenden Kohlenstoffatome eine Drehung sehr erschweren.

Hat aber der Strom so lange auf das Stahlstück gewirkt, daß die Neugruppierung vollzogen ist, so kann er hernach ruhig ausgeschaltet werden, ohne daß der Magnetismus wieder verschwindet. Jetzt hindert nämlich die gleiche Ursache, die vorher der Umgruppierung entgegenwirkte, die Reibung der Kohlenstoffatome, die Rückkehr der Elektronen in die ursprünglichen Stellungen. Gerade dieses Entstehen von Dauermagneten, wie ihr Menschen diese Stahlmagnete nennt, ist der beste Beweis für die Richtigkeit meiner Aussage, denn auf andere Weise ist diese Erscheinung gar nicht zu erklären. Zweifelt aber doch einer an der Beweiskraft meiner Angaben, so kann er sich sofort selber den endgültigen Beweis schaffen, wenn er einen Dauermagneten heftig mit einem Hammer klopft, ihn bis zur Rotglut erhitzt oder sonst etwas tut, wodurch das Gefüge der Atome gelockert wird. Die Elektronen können dann die ihnen aufgezwungene regelmäßige Lage wieder aufgeben, der ursprüngliche Wirrwarr der Kreisbahnen tritt ein, das Stahlstück ist wieder unmagnetisch.

Erwähnen will ich hier noch, daß man Eisen- und Stahlstücke natürlich auch durch den Einfluß bereits vorhandener Dauermagneten magnetisieren kann. In diesem Fall wirken die bereits richtig gruppierten, um die Eisenatome des Magneten kreisenden Elektronen richtend auf die Drehebenen ihrer Kameraden in dem zu magnetisierenden Eisenstück, und das Ergebnis ist natürlich das gleiche.

So könnt ihr euch also merken, daß es kein „magnetisches Fluidum", keinen „freien Magnetismus", keinen „magnetischen Nord- und Südpol", überhaupt nichts von all den schönen Dingen gibt, mit denen eure Forscher einst so lustig operierten. In der Elektronenlehre von heute verschwindet der Magnetismus als gesonderter Gegenstand vollständig, denn er ist nichts als die Wirkung der stetigen Bewegung der Elektronen um sich selbst und die Atome der einzelnen Stoffe. Im Grunde kann jeder Stoff

magnetisch werden, nur ist es für euch beim Eisen besonders leicht, die Elektronen in die gleiche Bahnebene zu bringen, und deshalb kennt ihr bei diesem Stoff die Eigenschaft am besten.

Bei der praktischen Verwendung des Magnetismus benutzt der Mensch sowohl Weicheisen- wie Stahlmagnete. Ein Stahl- oder Dauermagnet ist beispielsweise die Kompaßnadel, während Weicheisen- oder Elektromagnete zur Zeichengebung in Telegraphenapparaten, bei Elektromotoren usw. benutzt werden. Wie das geschieht, sollt ihr in den folgenden Kapiteln hören, und zwar will ich zunächst ein wenig von der Telegraphie erzählen.

VI. Kapitel.

Die Menschen lehren uns schreiben.

Telegraphie.

Die Geschichte der elektrischen Telegraphie beginnt mit dem elektrochemischen Telegraphen Samuel Thomas von Sömmerings, der 1809 die Zersetzung des Wassers durch den elektrischen Strom zur Zeichengebung nutzbar machen wollte. Der Apparat fand keine praktische Anwendung.

Besser glückte das Telegraphieren mittels Magnetablenkung durch den elektrischen Strom, wie sie 1820 von Hans Christian Onstedt entdeckt wurde. Auf Grund dieses Prinzips wurden z. B. 1843 die Nadeltelegraphen Charles Wheatstones gebaut, die ziemlich große Verbreitung erlangten.

Der eigentliche Gebrauchstelegraph aber ist der elektromagnetische Schreibtelegraph geworden, den Samuel B. Morse 1835 erfand, der aber erst 1847 eingeführt wurde. Als Morseschreiber wird er heute noch bei uns auf vielen kleinen und nicht zu stark belasteten mittleren Telegraphenlinien verwendet.

Neben ihm wird für stärker belastete mittlere Linien der Klopfer benutzt, der die Morsezeichen mit dem Gehör aufzunehmen gestattet. Der Klopfer hat sich aus dem Morseapparat entwickelt. Gebraucht wird er in Deutschland im öffentlichen Dienst seit 1893.

Auf Morseschreiber und Klopfer geht die Darstellung näher ein. Die weitere Entwicklung der Telegraphie, die sich über die Typendruck-, Schnell- und Maschinentelegraphen bewegt, konnte nur angedeutet werden, da hier die Fülle des Stoffes Beschränkung gebot.

Irgendeiner der alten Denker, deren Aussprüche ihr so oft im Munde führt, hat, wie man mir sagte, behauptet, der Mensch sei von Natur ein geselliges Wesen. Ich aber habe auf meinen Streifzügen durch die Erdenwelt immer wieder bemerkt, daß er auch ein sehr mitteilungsbedürftiges Wesen sein muß. Wenn ihr eure Sprache nicht hättet, wäret ihr nicht das geworden, was ihr jetzt seid, aber wie ihr die Gabe der Sprache anwendet, wie ihr über das Sprechen hinaus eure Gedanken durch Zeichen und Symbole, durch Buchstaben und Signale euch mitteilt, das habe ich schon manchmal bewundert. Ich habe die beste Gelegenheit gehabt, darüber Kenntnisse zu sammeln, denn wir Elektronen sind ja allmählich für die Menschheit die unentbehrlichen Boten geworden, die ihre Nachrichten von Stadt zu Stadt, bis tief in die fernsten Länder tragen.

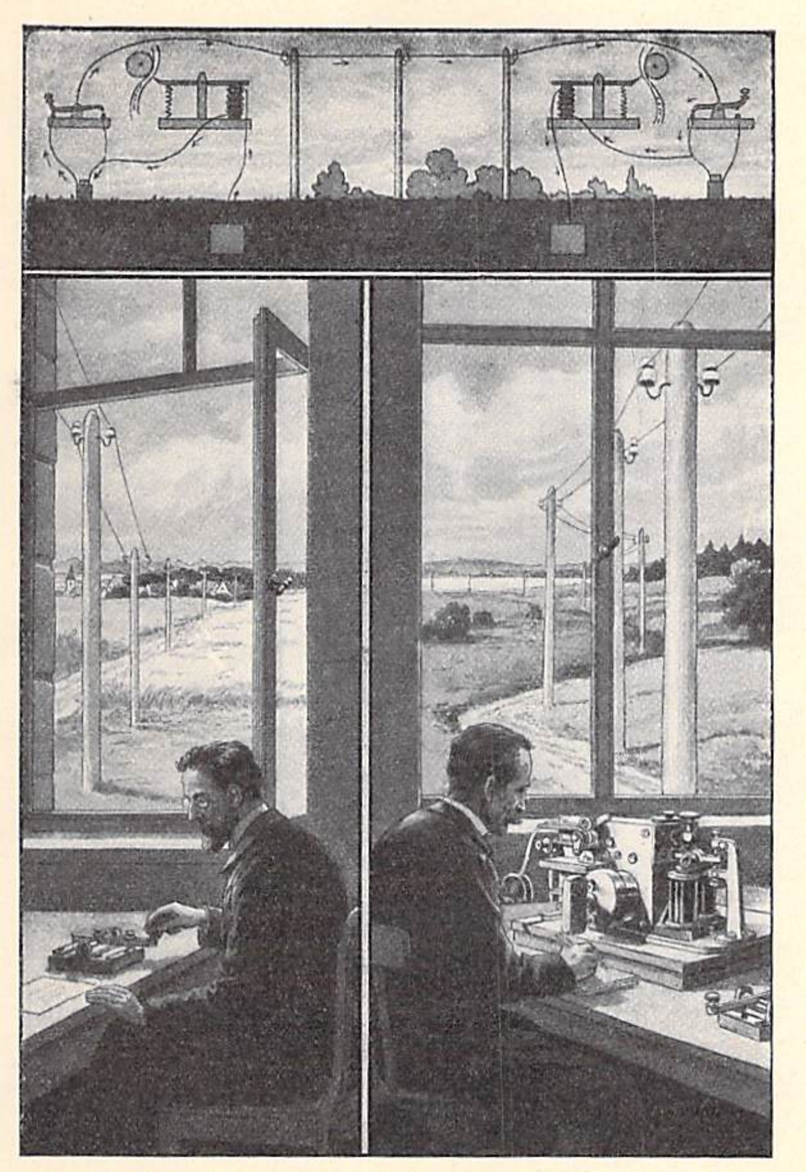


Abb. 23. Darstellung der Telegraphie mit Farbschreibern nach Morse. Oben der Stromverlauf zwischen zwei Ämtern schematisch, unten die zum Geben (links) und Empfangen (rechts) dienenden Apparate.

Ihr dürft euch allerdings diesen Botendienst nicht so vorstellen, als ob wir mit der Nachricht davonliefen und sie an den Empfangsort trügen. Wir marschieren ganz langsam in einem Draht, und doch sind die Nachrichten schneller an Ort und Stelle als durch jedes andere Mittel. Ihr merkt schon aus meinem letzten Satz, daß ich hier nur das Fernschreiben in Leitungen, die Telegraphie, besprechen will. Der leitungslosen Übermittlung von Nachrichten soll ein besonderer Abschnitt gewidmet sein.

In jeder Leitung, die der Mensch zwischen zwei Städten unterhält, sitzen wir Elektronen dicht nebeneinander im Draht. Was ist so ein Draht? Ein dünnes, langgezogenes Stück Metall mit freien und frei beweglichen Elektronen. An dem einen Ende befinden sich die Batterie und ein kleiner Taster, der den Strom einer Batterie schließt. Am anderen Ende hat man den Empfangsapparat angeschaltet, und über den geht der Strom in die Erde, mit der die Batterie natürlich auch verbunden ist. Wird der Taster niedergedrückt, so ist das für uns der Befehl zum Marschieren. Von der Batterie steigen Elektronen hoch, die im Draht sitzenden rücken ein Stückchen weiter, und die ganze Masse der Elektronen rückt voran, als wenn man eine Latte voranschiebt, wobei die letzten unserer Kameraden durch den Empfangsapparat hindurch in die Erde gedrängt werden und dabei bestimmte Zeichen hervorrufen. Dem oberflächlichen Beobachter scheint es, als ob der in die Leitung geschickte Strom im Handumdrehen die Leitung durchliefe. Natürlich ist das nur scheinbar, aber man kann bei diesem Bild, wenn man die Wirklichkeit stets bedenkt, ruhig bleiben, da die Wirkung auf jeden Fall die gleiche ist, und nur auf die Wirkung kommt es hier an.

Aus den Anfangszeiten der Telegraphie erinnere ich mich an zahlreiche Apparate, die alle dem Empfang der Zeichen dienten, mittlerweile aber wieder verschwunden sind. Desto lebhafter aber ist mir ein Apparat (Abb. 23, Vollbild) im Gedächtnis geblieben, in dem ich jetzt noch oft arbeiten muß. Ich kann da also aus eigener Erfahrung sprechen, und ich möchte die Sache ganz so darstellen, wie ich sie zum ersten Male erlebte. Ich saß am Ende einer Leitung, die mit einer Spule feinen Drahtes verbunden war. In der Spule steckte ein Eisenkern, und das Ganze war, wie ihr sagt, ein „Elektromagnet". Lange blieb ich nicht ruhig sitzen, denn plötzlich kam Bewegung in unsere Reihen. Von hinten drängte man nach, und zwar in ganz seltsamen kurzen und langen Stößen. Es war so, als ob immer jemand „Marsch! — Halt! Marsch! — Halt!" kommandiere und dabei das „Marsch" manchmal länger, manchmal kürzer ausdehnen lasse. Man merkte an der

Regelmäßigkeit dieser Kommandos deutlich, daß sie absichtlich so gegeben wurden, und wir mußten nun, genau den kurzen und langen Stößen entsprechend, durch die Magnetspule wandern, um durch sie hindurch zur Erde zu gelangen. Am fernen Ende des Drahtes stiegen natürlich Kameraden von uns im gleichen Zeitmaß aus der Erde empor in die Batterie und die Leitung, so daß stets regelmäßige Stromstöße auftraten.



Abb. 24. „Klopfer" in seiner Schallkammer. Dieser Apparat wird heute vielfach an Stelle des Farbschreibers benutzt. Die Morsezeichen werden abgehört.

Diese Stromstöße, also im Grunde das wachsende Vorrücken der Elektronen, verrichteten nun mit Hilfe des Elektromagneten eine bestimmte Arbeit. Wie wir beim Durchgang durch einen Draht unsere um die Eisenatome kreisenden Kameraden beeinflussen, habe ich schon erläutert. Durch diese Beeinflussung wurde der Eisenkern bei jedem Stromstoß magnetisch, während er bei jedem „Halt" den Magnetismus wieder verlor.

Der Mensch hatte nun über dem oberen Ende des Elektromagneten ein kleines flaches Eisenplättchen — einen „Anker" — angebracht, der zuerst angezogen, beim Aufhören des Stromes jedoch durch eine Feder wieder hochgerissen wurde. An dem Anker saß ein kleiner Hebel, dessen hinteres Ende sich hob, wenn sich das vordere senkte. Und am hinteren Ende war ein Schreibstift befestigt, der sich durch die Hebung gegen einen darüber hinlaufenden Papierstreifen legte.

Danach läßt sich die Wirkung dieses Schreibapparates vorstellen. Am fernen Ende der Leitung drückt der Telegraphist die Taste nieder, die Elektronen beginnen in dem Draht zu wandern, der Elektromagnet zieht

den Anker an, der Hebel senkt sich vorn und hebt sich hinten, der an dem hinteren Hebelende angebrachte Schreibstift drückt gegen den langsam abrollenden Papierstreifen und erzeugt hier einen Strich. Jetzt läßt der Telegraphist die Taste los, wir hören auf zu marschieren, der Elektromagnet wird unmagnetisch, die Feder zieht den Anker hoch, der Hebel senkt sich hinten, und der Schreibstift kehrt in die Ruhelage zurück. Kurzer Tastendruck ruft einen kurzen Strich (einen Punkt) hervor, langdauernder Stromschluß einen längeren Strich. Und aus solchen Punkten und Strichen setzt der Mensch nun sein Alphabet zusammen, so daß er damit jede Nachricht übermitteln kann. Ich habe meinen Dolmetsch gebeten, hier die gebräuchlichsten Telegraphierzeichen einzufügen, damit ihr euch einen richtigen Begriff von der Sache machen könnt. Es bedeutet:

•—	a	••••	h	—•	n	—	t
—•••	b	••	i	———	o	••—	u
—•—•	c	•———	j	•——•	p	•••—	v
—••	d	—•—	k	——•—	q	•——	w
•	e	•—••	l	•—•	r	—••—	x
••—•	f	——	m	•••	s	—•——	y
——•	g					——••	z

Ihr seht daraus deutlich, wie einfach die Zeichen sind, und wie leicht man sie benutzen kann. Und wenn ihr selber einmal aus diesen Zeichen ein paar Worte zusammenstellt und versucht, sie durch das Klopfen eines Schlüssels auf dem Tisch wiederzugeben, werdet ihr auch merken, wie schnell die Übermittlung vor sich geht. Für die Ziffern hat man ähnliche Zeichen und ebenso für die Satzzeichen, die Punkte, Fragezeichen usw., so daß also für alles wohl gesorgt ist.

Die versuchsweise Übermittlung solcher Zeichen durch Klopfen zeigt euch aber auch noch etwas anderes. Ihr werdet dabei finden, daß man die langen und die kurzen Schläge (Punkte) sehr gut durch das Gehör voneinander unterscheiden kann. Das merkten die Menschen bald, und sie ließen dann bei einem zweiten Apparat Schreibstift und Papierstreifen weg. Statt dessen brachte man an dem Schreibhebel einen kleinen Metallstift an, der beim Niedergehen des Ankers gegen einen tönenden Metallbügel schlug und so die Zeichen laut und deutlich als lange und kurze Klopftöne wiedergab. Diese Apparate erhielten den Namen „Klopfer" (Abb. 24), und sie sind heute recht zahlreich im Gebrauch. Allerdings erfordert ihre Benutzung größere Übung des Telegraphisten, aber dafür arbeiten sie auch bedeutend schneller, und das ist euch hastenden Menschen ja immer die Hauptsache.

Dieses Hasten hat später dazu geführt, daß man noch schneller arbeitende Apparate ersann, die gedruckte Buchstaben lieferten oder den Tastendruck des Menschen durch Maschinenarbeit ersetzten. Darauf kann ich hier leider nicht näher eingehen, da mein Dolmetsch behauptet, ich würde dann allzusehr in die Weite schweifen, und das sei bei dieser Darstellung nicht angebracht.

Ich will also nur noch sagen, daß man eine Telegraphenleitung natürlich von beiden Seiten her zum Geben und zum Empfangen benutzen kann. Nach meinen bisherigen Ausführungen ist das ja eigentlich ohne weiteres klar. Aber man weiß bei euch Menschen nie so recht, ob ihr alles zu lesen versteht, was hier zwischen den Zeilen liegt, und deshalb scheint diese Erinnerung mir wohl angebracht.

VII. Kapitel.

Botendienst im All.

Drahtlose Telegraphie.

In der öffentlichen Meinung gilt meistens der italienische Physiker Guglielmo Marconi als der Erfinder der drahtlosen Telegraphie. Demgegenüber ist festzustellen, daß er zwar 1895 als erster ein praktisch brauchbares System der Telegraphie mit elektrischen Wellen bekanntgab, daß er aber auf verschiedenen Vorarbeiten fußte, die ihm seine Arbeit sehr erleichterten. So stellte Clerk Maxwell 1865 die Wellentheorie der Elektrizität auf, die dann Heinrich Hertz 1888 experimentell begründete. Diese Theorie bildet die Grundlage für die drahtlose Telegraphie.

Die Idee des Kugeloszillators, eines Funkensenders, der Wellen großer Kraft auszusenden gestattet, geht auf den Italiener Righi, Marconis Lehrer, zurück, während der Franzose Branly den Kohärer, den Empfangsapparat für diese Wellen, erfand. Marconi war übrigens nicht einmal der erste, dem der Gedanke der Wellentelegraphie kam. Hier ist als Vorläufer besonders der Engländer Lodge zu nennen. In der Praxis hat Marconi einen Vorsprung erlangt, weil er für England und Italien ein Monopol besitzt. Tatsächlich sind ihm die deutschen Systeme, um deren Ausbildung sich besonders Slaby, Arco und Braun verdient gemacht haben, gleichwertig, wenn nicht gar überlegen. Anerkannt muß aber werden, daß es Marconi zuerst gelungen ist, auf größere Entfernung drahtlos zu telegraphieren, am Anfang auf 1½ km, kurze Zeit später auf 13—14 km, und im Dezember 1901 kam die Nachricht, daß es dem Forscher gelungen sei, von England nach Amerika, also über den Ozean Botschaft zu senden. Die Welt hörte davon, staunte und begrüßte den Vollender mit lautem Beifall, während man die, die ihm die Wege bahnten, vergaß. Im Grunde ist das eine Alltäglichkeit, aber ich wollte doch nicht versäumen, mit wenigen Worten auf Deutschlands Anteil an den Erfindungen hinzuweisen, von denen das folgende Kapitel erzählen soll. Es konnten allerdings nur Umrisse gegeben werden, aber sie reichen zum Verständnisse der Erscheinungen aus. Die späteren Fortschritte brachten nur Vervollkommnungen, während das Prinzip immer blieb.

Es sind jetzt gerade zehn Jahre her, wenn ich die Zeitrechnung der Menschen anwende, seit meine Kameraden mir erzählten, daß die Menschen eine neue Art gefunden hätten, ihre Nachrichten durch uns befördern zu lassen. Den Draht, durch den wir sonst marschierten, hatte man aufgegeben, und nun sausten die Telegramme ohne Draht über Länder und Meere, quer durch den unendlichen Raum. Da höre ich einen meiner Leser ein-

werfen, daß ich doch behauptet hätte, wir müßten einen Drahtweg haben, um überhaupt marschieren zu können, und jetzt erzähle ich hier, der Draht sei beiseitegeworfen, und wir marschierten quer durch den Raum. Aber gemach, ich habe ja nur gesagt, die Telegramme gingen diesen Weg, und ich will noch einmal ausdrücklich wiederholen, daß wir selber nicht durch den Äther wandern können. Selbst in luftleeren Röhren können wir, das wißt ihr ja, nur ganz kurze Sprünge machen. Und die Funkenentladungen der Blitze, die auch solche Sprünge darstellen, geschehen nur dann, wenn der Druck der nachdrängenden Elektronen so riesig wird, daß er den Widerstand der Luft überwindet und wenn die zersplitterten Gasatome der Luft uns den Abgrund überbrücken helfen. Von dem allem aber trifft hier nicht ein einziger Punkt zu, und deshalb brauchen wir darüber gar nicht weiter zu reden.

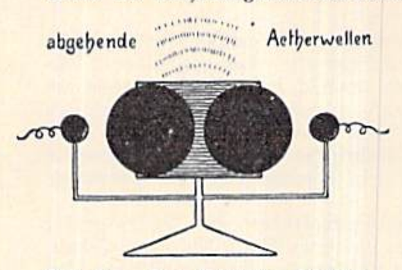


Abb. 25. Der Righische Radiator (Strahlapparat) für elektrische Wellen in schematischer Darstellung. Die die Wellen erzeugenden Funken springen zwischen den mittleren Metallkugeln über, die zur besseren Isolation in einem mit Öl gefüllten Hartgummikasten sitzen. Die äußeren Kugeln nehmen die Zuführungen von der Elektrisiermaschine auf.

Das wußten die Menschen alles ebensogut wie wir, und so waren sie denn nicht wenig erstaunt, als sie davon hörten, daß man Schiffen draußen auf der See und anderen Stellen, zu denen keine Drahtleitung führt, mit Hilfe der Elektrizität Nachrichten übermitteln könne. Für uns Elektronen war das nichts Neues, sandten wir doch schon seit Entstehung der Erde Nachrichten durch den Raum, ohne daß der Mensch davon wußte. Wenn der Mond seine bleichen Strahlen zu euch herniederschickt, wenn die Sonne leuchtet, wenn das Funkeln der Sterne am Abendhimmel den einsamen Wanderer grüßt, so sind das alles Botschaften aus dem All, die wir verursachen, die der Mensch durch unsere Arbeit erhält. Auf Ätherwellen kommen diese Botschaften, und Lichtstrahlen nennt sie der Mensch. Nun, solche Ätherwellen sind auch das Mittel, mit dem wir ohne Drahtbrücken über den Ozean telegraphieren. Nur sind die elektrischen Wellen länger wie die des Lichts, oder, anders gesagt, weiter voneinander entfernt. Sie folgen nicht so dicht aufeinander wie die Wellen des Lichtes, und deshalb rufen sie in euren Sinnen keinen Eindruck hervor.

Wie aber werden solche Wellen erzeugt? Dazu hat der Mensch besondere Apparate ausgedacht, die heute natürlich vervollkommnet und

ziemlich kompliziert zusammengesetzt sind, die sich aber bequem auf eine Grundform zurückführen lassen. Denkt euch zwei kleine Metallkugeln (Abb. 25), zwischen denen in regelmäßigen Zwischenräumen ein in einer Elektrisiermaschine erzeugter Elektronenstrom durch die Luft hindurch als Funke überspringt. Dieser Funke erzeugt im Äthermeer, das ja alles durchdringt, Wellen, genau wie ein Stein, der ins Wasser geworfen wird. Die Wasserwellen pflanzen sich dabei nach allen Richtungen hin fort, das einzelne Wasserteilchen aber geht nicht mit, sondern schwankt, wie ihr an einem in die Wellenkreise geworfenen Kork leicht beobachten könnt, auf der Stelle auf und nieder und gibt den Anstoß an die Nebenteilchen weiter. Solche Schwingungen auf der Stelle, wie man sie bei den Wasserwellen bequem beobachten kann, nennt ihr Menschen „Oszillationen", und bei den Funkenentladungen treten diese Oszillationen ebenfalls auf. Jedes überspringende Elektron wirkt also auf den Äther wie ein in einen Teich geworfener Stein: es erzeugt Ätherwellen, die sich nach allen Seiten fortpflanzen, während die Ätherteilchen auf der Stelle schwingen (oszillieren). Habt ihr die Sache so weit verstanden, so wird euch das übrige leicht begreiflich sein. Dabei kann ich wieder von einem eigenen Erlebnis ausgehen. Ich saß eines Tages auf einem Nickelstäubchen, einem Stoff, der sich fast genau so verhält wie Eisen, also durch elektrische Ströme leicht magnetisch wird. Dieses Nickelteilchen war mit Millionen gleicher Nickelkörnchen in eine Glasröhre eingeschlossen, die beiderseits durch je eine Nickelplatte verschlossen war (Abb. 26). An diesen Platten saßen Leitungsdrähte, und durch diese Drähte schienen andere Elektronen von draußen hereinzuwollen. Sie kamen aber nicht vorwärts, denn die Nickelstäubchen berührten sich nicht und boten den Elektronen keinen Weg. Plötzlich änderte sich die Lage jedoch. Der Äther wurde durch von außen kommende Wellen erregt, und diese Ätherstörungen riefen durch uns an den Nickelstäubchen magnetische Erscheinungen hervor. Die Stäubchen zogen einander an, legten sich fest zusammen und waren

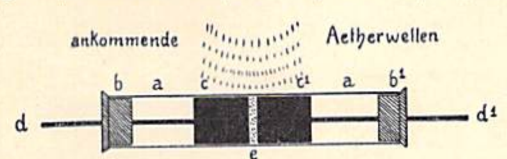


Abb. 26. Branlyscher Kohärer (Fritter), der Empfangsapparat für die elektrischen Wellen in schematischer Darstellung: a die Glasröhre, die bei b und b¹ verschlossen ist. Durch den Verschluß führen die Drähte d und d¹, an denen die metallischen Kolben c und c¹ sitzen. Zwischen diesen Kolben liegt die dünne Nickelpulverschicht e, die beim Auftreten der elektrischen Wellen zusammenbackt und den Strom der an den freien Enden von d und d¹ liegenden Batterie, die den Morseapparat betätigt, durchgehen läßt.

nun für die von außen kommenden Elektronen eine bequeme Brücke. Sofort ging der Marsch los, und im gleichen Augenblick hörte ich das scharfe Ticken eines Morseschreibers, der anscheinend durch die marschierenden Elektronen in Bewegung gesetzt worden war. Ich wollte meinem Erstaunen darüber gerade Ausdruck geben, als etwas kurz und fest gegen die Röhre schlug und die schöne Brücke wieder zerstörte. Damit war auch der Weg wieder versperrt, und der Telegraphenapparat klapperte nicht mehr.

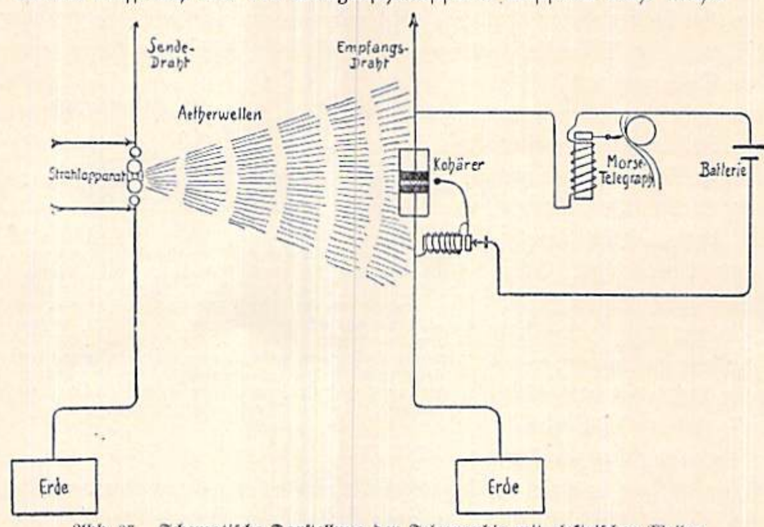


Abb. 27. Schematische Darstellung der Telegraphie mit elektrischen Wellen.

So hatte ich Muße, über die Sache nachzudenken, und da kam ich denn bald auf die richtige Lösung (Abb. 27). Der Mensch hatte einen kleinen Apparat gebaut, der auf der Sendestation stand und den er als Strahlapparat bezeichnete. Das waren zwei Metallkugeln, zwischen denen elektrische Funken, die er mit Hilfe einer Elektrisiermaschine erzeugte, übersprangen. Die Einrichtung auf dieser Sendestation war so getroffen, daß man mit Hilfe eines Morsetasters die Funken kürzere oder längere Zeit überspringen lassen konnte, und so sendete man mit Hilfe der Funken kürzere oder längere Wellenzüge in den Raum hinaus, mit denen man die Zeichen des Morsealphabets wiedergab.

Auf der Empfangsstation war die Einrichtung komplizierter. Zunächst sah man da die kleine Röhre, von der ich schon sprach und die den Namen Kohärer oder Fritter führte. Von den Nickelplatten, zwischen denen die

Nickelstäubchen lagen, führten Leitungsdrähte zu einer Batterie, einem Morseschreiber und einem kleinen Elektromagnet, der am Anker einen Klöppel trug. Dieser Elektromagnet lag so, daß der Klöppel beim Anziehen des Ankers die Röhre treffen und sie erschüttern mußte. Die Arbeit dieser Apparate wird eigentlich durch meine erste Erzählung schon verständlich. Ich brauche sie deshalb wohl nur noch mit wenigen Worten zu erläutern. Die von dem Strahlapparat ankommenden Ätherwellen treffen auf die Röhre, machen die Nickelstäubchen magnetisch und öffnen so dem Strom der auf der Empfangsstation stehenden Batterie den Weg zum Elektromagneten des Morseapparats, der das Zeichen niederschreibt. Im gleichen Augenblick zieht der kleine Elektromagnet seinen Anker an, der Klöppel schlägt gegen die Röhre und zerstört hier die magnetische Brücke. Dadurch wird der Stromkreis der Empfangsbatterie unterbrochen, und nun ist wieder alles zur Aufnahme eines neuen Zeichens bereit.

Daß man auf diese Weise telegraphieren kann, ist wohl verständlich, aber es hat doch lange gedauert, bis der Mensch so weit kam. Dafür hat er aber dann auch, seitdem er die drahtlose Telegraphie kennt, zahlreiche Verbesserungen an den ursprünglichen Apparaten angebracht, große Sendedrähte, die die Wellen besser auffangen und abgeben, und anderes mehr, so daß diese Einrichtung heute schon außerordentlich gut arbeitet. Über die Meere und über Berg und Tal gehen jetzt die Wellentelegramme. Und rund um den Erdball kreisen sie mit der Geschwindigkeit der Ätherwellen, d. h. mit der Geschwindigkeit des Lichtes. Gesagt sei aber noch einmal, daß wir Elektronen selber dabei stets an Ort und Stelle bleiben, und daß nur die Wellenzüge, die wir im Äther erregen, ausstrahlen durch den unermeßlichen Raum.

VIII. Kapitel.

Die Menschen lehren uns sprechen.

Telephonie.

Die erste Übertragung der Sprache durch den elektrischen Strom gelang 1861 dem deutschen Lehrer Philipp Reis. Ein sehr vervollkommnetes Instrument wurde 1876 von Graham Bell, einem englischen Physiologen, konstruiert. Eine Verständigung auf größere Entfernungen wurde jedoch erst durch die Erfindung des Mikrophons (1878) möglich, die gleichzeitig Th. A. Edison und D. F. Hughes gelang.

Die drahtlose Telephonie ist eine Errungenschaft der allerjüngsten Zeit. Die Anfänge liegen um das Jahr 1899 herum. Die ersten wirklichen Erfolge waren 1902 dem dänischen Ingenieur Woldemar Poulsen beschieden. Nach seinem System wurde 1907 zwischen Lyngby in Dänemark und Weißensee bei Berlin auf 370 km eine klare Verständigung erzielt.

Hier möchte ich jetzt einiges über unsere Arbeit bei der Übertragung der menschlichen Sprache auf elektrischem Wege erzählen, also über das, was der Mensch „telephonieren" oder „fernsprechen" nennt. Zu allererst muß ich da eine Anschauung berichtigen, von der ich immer wieder höre und die weit verbreitet zu sein scheint. Wir Elektronen tragen nicht etwa Töne bei der Übermittlung mit uns fort, das ist vollkommen falsch. Die Sache liegt vielmehr so, daß wir durch das Sprechen des Menschen an einem Ende der Leitung vorwärts getrieben werden, durch den Draht wandern und am anderen Ende Schallschwingungen erzeugen, die dort das horchende Ohr treffen. Zwischen den beiden Orten, die die Fernsprechleitung verbindet, erklingt nicht der leiseste Ton. Einzig um eine Bewegung von Elektronen in der Leitung handelt es sich, und nur diese wechselnde Bewegung ist die Ursache der Tonübertragung. Natürlich müssen wir uns hier der Hilfe der Atome bedienen, da wir sonst auf das menschliche Ohr nicht wirken könnten. Aber die Atome sind doch nur Diener, denn sie selbst könnten die Sprache höchstens auf ein paar hundert Meter weitergeben. Der beste Beweis dafür ist ja ein Mensch, der sich hinstellt, um einem Freunde etwas zuzurufen. Sobald es sich da um eine größere

Entfernung handelt, hört man die Stimme einfach nicht mehr. Hier setzt unsere Arbeit ein, für die der Mensch besondere Apparate gebaut hat. Ich erinnere mich noch gut an das Aussehen des ersten Instruments, das der Mensch, der die Telephonie erfand, verwendete. Man hatte damals gemerkt, daß es nicht nur möglich sei, durch elektrische Ströme Magnetismus zu erzeugen, sondern daß man auch durch Magnetismus oder besser durch Veränderungen des magnetischen Zustands elektrische Ströme hervorrufen könne. Beide Dinge verband jener Mensch äußerst geschickt. Er hatte an den beiden Orten, zwischen denen die Übertragung der Gespräche erfolgen sollte, je einen Dauermagneten aufgestellt, der mit einer Drahtspule umwickelt war (Abb. 28). Die Enden der Drahtspule schloß er an die Leitung an, die die beiden Orte verband, und vor dem einen Pol jedes der beiden Dauermagnete war eine dünne Stahlplatte befestigt. Sie wurde durch die Schallwellen der Luft, die des Menschen Stimme erzeugte, in Schwingungen versetzt. Durch diese Schwingungen näherte sie sich dem Magnetpol. Ihre Elastizität ließ sie aber sofort wieder zurückschnellen, und

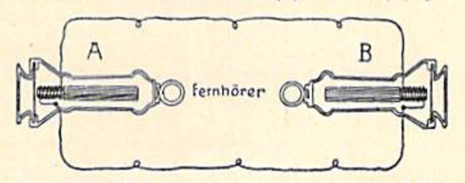


Abb. 28. Schematische Darstellung der Telephonie mit Fernhörern.

diese wechselnde Annäherung und Entfernung rief in dem Lauf der die Atome des Dauermagnets umkreisenden Elektronen Störungen hervor, die sich als Änderungen des Magnetismus kundgeben. Diese Magnetismusänderungen wirkten wieder auf die den Magnet umgebenden Drahtspulen und verschoben die freien Elektronen darin. Die Bewegung der Elektronen pflanzte sich in der bekannten Weise durch den Draht fort, kam in der Drahtspule am anderen Ende an und wirkte hier auf den magnetischen Stahlkern, dessen Magnetismus sie abwechselnd schwächte und verstärkte, und die Folge war die Anziehung der vorgelagerten Stahlscheibe, die ebenfalls in Schwingungen geriet, in die gleichen wie die Scheibe am anderen Ende. Da die Stromstöße in der Leitung nun durch die Schallwellen, die der sprechende Mensch erzeugte, hervorgerufen wurden, war es klar, daß die Schwingungen der Platte am empfangenden Ende im gleichen Rhythmus erfolgten. Dadurch aber wurde dann die Luft in Schwingungen versetzt, d. h. es entstanden für das horchende Ohr hier genau die Töne, die der sprechende Mund am anderen Ende erzeugt hatte.

Damit war das Problem an sich gelöst, aber die Menschen merkten doch bald, daß die Geschichte noch nicht recht in Ordnung war. Ihre Sprechwerkzeuge waren nämlich zu schwach, um so heftige Luftwellen hervorzurufen, wie sie für die Erregung stärkerer elektrischer Ströme auf große Entfernungen hin notwendig gewesen wären, und darunter litt die Brauchbarkeit des Apparats außerordentlich. Uns tat das sehr leid, denn wir hätten auch hier sehr gern die Wünsche des Menschen erfüllt, aber wir konnten nicht das geringste am Gang der Dinge ändern. Um so mehr freute es uns, als wir später merkten, daß es den Forschern doch gelungen war, dieser Schwierigkeiten Herr zu werden.

Es war nämlich jemand darauf verfallen, den Apparat, den ich zuerst beschrieb, nur noch zum Empfangen, also zum Hören, zu benutzen und als Geber, als Sprechapparat, ein anderes Instrument einzuschalten, dessen Konstruktion wirklich genial genannt werden mußte. Ich will auch hier wieder die älteste Ausführungsform beschreiben, obwohl inzwischen viele Verbesserungen daran angebracht worden sind. Die älteste Form ist aber am leichtesten verständlich, und jede Verbesserung änderte nur an der Ausführung, während der Grundgedanke immer blieb.

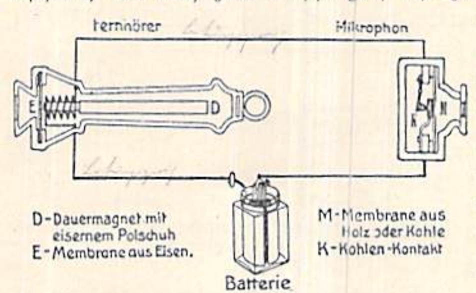


Abb. 29. Schematische Darstellung des Zusammenarbeitens von Mikrophon, Fernhörer und Batterie.

Man hatte auf der Rückseite einer aufrechtstehenden dünnen Holzplatte ein Kohleblöckchen angebracht, auf das ein an einer stählernen Feder befestigter Kohlestift leicht drückte (Abb. 29). Die Kohleatome können wir fast ebenso schnell durchklettern wie Metallatome. Kohle ist eben für uns auch ein guter Leiter. Mit dem Kohleblöckchen war der eine Pol einer Batterie verbunden, deren anderer Pol an dem einen Leitungszweig zur Empfangsstation lag. Der zweite Leitungszweig war mit dem Kohlestift verbunden, und zwischen beide Zweige war auf der Empfangsstation der Empfangsapparat, wie ich ihn schon beschrieb, eingeschaltet.

Wenn ihr euch in die ganze Sache gut hineindenkt, so werdet ihr die Arbeit des neuen Apparats gleich verstehen. Die Batterie schickte ständig

Elektronen in die Leitung, aber es konnten nicht viele sein, weil die Berührung des Kohleklötzchens mit dem Kohlestäbchen nur sehr locker war und daher den Übergang der Elektronen ziemlich erschwerte. Die Folge davon war, daß gewöhnlich nur ein ganz schwacher gleichmäßiger Strom die Leitung durchlief. Das änderte sich, sobald jemand gegen die dünne Holzplatte sprach. Sie geriet dann in Schwingungen, die sich auf das Kohleklötzchen und den Kohlestift fortpflanzten. Die Berührung wurde bald inniger, bald lockerer wie zuvor. So konnten dann auch bald mehr, bald weniger Elektronen übertreten, und die Folge war ein bald stärkerer, bald schwächerer Strom in der Leitung, der den Magnet des Empfangsapparats entsprechend beeinflußte. Die dessen einem Pol

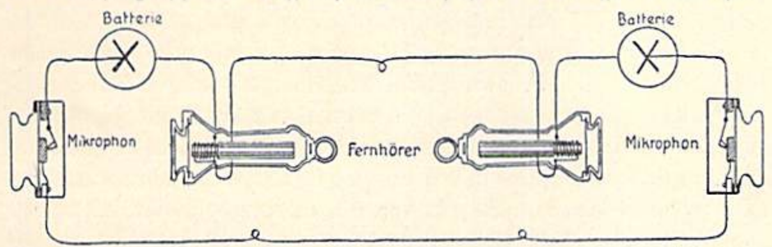


Abb. 30. Skizze der Schaltung zweier Sprechstationen, von denen jede mit Mikrophon und Fernhörer ausgerüstet ist.

vorgelagerte Stahlplatte begann ebenfalls zu schwingen, und diese Schwingungen wurden dem horchenden Ohr als Töne hörbar.

Bald lernte man dann auch die neuen Apparate mit den alten so zusammenstellen, daß man an jedem Ende der Leitung sowohl hören wie sprechen konnte (Abb. 30). Wer aber glaubt, der Mensch sei mit dem dann Erreichten zufrieden gewesen und hätte sich nun wieder anderen Dingen zugewendet, der täuscht sich sehr. Sein Streben ging nach immer weiterer Vervollkommnung. Kaum konnte er durch Leitungen in die Ferne sprechen, da versuchte er auch schon, ob die Geschichte nicht ohne Leitung gehen würde, denn die drahtlose Telegraphie legte ihm diese Vermutung ja nahe. Leider fing er aber hier die Geschichte von vornherein ganz falsch an, und so ist er erst sehr spät zu wirklichen Erfolgen gekommen. Er wollte nämlich den Gedanken, der der Funkentelegraphie zugrunde lag, auch für die Telephonie nutzbar machen, und damit war er auf dem Holzweg. Es ist für uns nicht schwierig, einen Telegraphenapparat durch Ätherwellen und mit Hilfe der Röhre mit den Nickelstäubchen in Gang zu setzen, Telephonschwingungen aber können wir so nicht erzeugen. Die Ätherwellen, die

wir hervorbringen, gleichen einem plötzlichen Aufspritzen im Äthermeer, einem Aufspritzen, wie es euch auch das Beispiel der Wasserwellen zeigt, die ein Steinwurf in einem Teich verursacht. Um drahtlos telephonieren zu können, muß man aber gleichmäßige Züge fortlaufender Wellen in wechselnder Stärke haben, denn nur solche Wellengänge bringen die langsamen harmonischen Stromschwankungen im Empfänger zustande, die man hier braucht.

Was auf die alte Weise nicht ging, gelang dann später mit einem anderen Apparat, bei dessen Erprobung ich auch dabei war. Unglücklicherweise war mein Platz nicht sehr günstig, so daß ich nicht alles sah, was eigentlich vorging. Ich hing an einem Kupferatom in einem Draht, der an einer hohen Stange auf der Sendestation in die Luft gezogen war. Daß ich nicht allein war, brauche ich nicht zu betonen, denn ihr wißt ja jetzt schon, daß selbst auf dem kleinsten Raum stets Milliarden von Elektronen vereinigt sind. Wir wurden nun alle durch ungeheure Kräfte gezwungen, langsam hin und her zu schwingen. Was uns dabei am meisten belästigte, war der große Unterschied in den Schwingungen, die wir machen mußten. Einmal ging's ganz bedächtig, dann wieder ein wenig schneller, dazwischen kamen plötzliche Rucke, alles aber war so ineinander verwoben, daß ich sofort wußte, es handle sich hier um die Schwingungen einer Telephonmembran.[1])

Diese Schwingungen erregten durch Vermittlung komplizierter Apparate, die ich hier nicht näher beschreiben kann, lange, gleichmäßige Wellen im Äther, die sich blitzschnell durch den Raum fortpflanzten und, wie ich später hörte, auf Elektronen trafen, die in ziemlicher Entfernung in einem Auffangedraht saßen, der dem, in dem ich mich befand, ganz gleich gestaltet war. Es wurden also die fremden Elektronen entsprechend beeinflußt, ihre Bewegung pflanzte sich durch den Draht fort, ein elektrischer Strom entstand, und dieser Strom, der durch den aus einer Batterie auf der Empfangsstation noch verstärkt wurde, wirkte auf einen der euch bekannten Telephonempfangsapparate, dessen Membran sofort übereinstimmend mit der des Apparats auf der Sendestation zu schwingen, also zu sprechen begann.

Als ich einige meiner Kameraden, die näher am Sender saßen als ich, fragte, wie denn eigentlich die ausgeschickten Wellenzüge zustande kämen,

[1]) Als Membranen bezeichnet man die dünnen Scheiben im Fernsprecher, gegen die man spricht, und deren Schwingungen die Schwingungen der Schallwellen übertragen.

erzählten sie, daß eine riesige Stromquelle und eine Bogenlampe an unsere Leitung angeschlossen seien, während der Fernsprechsender in einer zweiten Leitung liege. Die im Fernsprecherstromkreis hin und her schwingenden Elektronen beeinflußten ihre Kameraden in der Bogenlampe, mit der die Luftdrähte verbunden waren, und so gaben die Luftdrähte genau die Schwingungen wieder, die die Sendermembran beim Sprechen des sendenden Menschen machte.

Es ist sehr schade, daß mein Platz mir nicht erlaubte, besser zu sehen, was alles vorging, aber ich konnte das leider nicht ändern. Ich hoffe jedoch, daß ihr wenigstens ein ungefähres Bild der neuen Erfindung bekommen habt, die übrigens heute noch ständig verbessert wird.

IX. Kapitel.

Unsere schwersten Pflichten.

Das folgende Kapitel erläutert kurz die Erzeugung elektrischer Ströme in Dynamomaschinen. Das Prinzip dieser Maschinen wurde in den dreißiger Jahren des 19. Jahrhunderts von Michael Faraday, dem großen englischen Experimentator, entdeckt. Er fand, daß in einer Drahtspule ein elektrischer Strom entsteht, wenn man sie im Kraftfeld eines Magneten bewegt.

Die heute benutzten Dynamomaschinen bestehen hauptsächlich aus dem Anker, der die bewegte Drahtspule darstellt, und den Feldmagneten (Elektromagneten), die das Kraftfeld erzeugen. Der in dem sich drehenden Anker erzeugte Strom wird durch Drahtbürsten an der Achse abgenommen und fortgeleitet. Führt man den Strom dann wieder in die Elektromagnete einer zweiten gleichen Maschine ein, so beginnt hier der Anker sich zu drehen. Diese Drehung läßt sich auf Räder übertragen, die auf der gleichen Achse sitzen, sie läßt sich aber auch durch Riemenübertragung zum Antrieb entfernter Maschinen verwenden.

Eine Maschine, die auf diese Weise durch eingeführten Strom Bewegung erzeugt, nennt man Elektromotor. Im Grunde ist also ein Elektromotor das gleiche, wie eine Dynamomaschine. Der Unterschied liegt nur in der verschiedenen Arbeitsweise, die die Maschinen dann zu Gegensätzen stempelt. Wiederholt sei: Die Dynamomaschine erzeugt durch den mechanisch gedrehten Anker elektrischen Strom, wandelt also Bewegung in Elektrizität um, der Elektromotor dreht durch einen eingeführten elektrischen Strom den Anker, verwandelt also Elektrizität in Bewegung.

Die Dynamomaschine liefert uns den Strom, den wir zur Beleuchtung, zur Heizung, zum Antrieb von Motoren usw. verwenden. Der Elektromotor bewegt unsere Straßenbahnwagen und treibt zahlreiche andere Maschinen.

Wenn ihr euch die Größe eines Wagens der elektrischen Straßenbahn oder die Riesenmaschinen der Elektrizitätswerke vorstellt und sie dann mit der Winzigkeit der Elektronen vergleicht, so mag es euch vielleicht ziemlich unglaubhaft vorkommen, wenn ich hier sage, daß die Elektronen es sind, die jene Wagen fortbewegen und die in den Maschinen arbeiten. Aber ich berichte doch nur die reine Wahrheit. Die Erklärung für diese Riesenleistungen liegt schon in einem alten Sprichwort der Menschen: Viele Wenige machen ein Viel — Vereinte Kräfte führen zum Ziel. Denken wir nur einmal an die Wagen, die da bewegt werden. Daß man dazu ungeheure Kräfte braucht, liegt wohl von vornherein auf der Hand. Die

Kräfte, die ein paar Batterien liefern könnten, genügen da bei weitem nicht. Sie würden es uns wohl ermöglichen, einen Spielzeugwagen zu treiben, aber so ein richtiger großer, mit Menschen vollgepackter Kasten hat doch ein anderes Gewicht.

Doch zur Sache. Zunächst möchte ich von der Dynamomaschine sprechen, da mir das am wichtigsten scheint. Von unserem Standpunkt aus sind die darin stattfindenden Vorgänge alle ganz einfach, aber ich fürchte, es wird recht schwer sein, euch alles verständlich zu machen. Wenn man einen Magneten einem Draht nähert, so wißt ihr schon, was geschieht. Der Magnet (d. h. die darin kreisenden Elektronen) wirkt auf die freien Elektronen des Drahtes ein. Daß dies wirklich der Fall ist, erkennt der Physiker daran, daß der Zeiger eines mit dem Drahte verbundenen Meßapparats, eines Galvanometers, ausschlägt (Abb. 31). So kann man mit dem Magneten, wenn man ihn hin und her bewegt, bald hier in die Nähe dieses, bald in die Nähe jenes Drahtes bringt, überall Unruhe, Bewegung der Elektronen hervorrufen. Natürlich ist immer und überall um jeden Magneten ein beschränkter Bezirk, das sogenannte magnetische Feld, vorhanden. Aber seine Wirkung erkennt ihr nur, wenn sich andere Elektronen in diesem magnetischen Feld befinden, die dann aufgestört, bewegt werden. Nun stellt euch die Pole eines großen Elektromagneten vor, die seitlich halbkreisförmig ausgeschnitten sind und also einen zylindrischen Raum zwischen sich lassen (Abb. 32.) In diesem Raum, einem magnetischen Feld, ist eine Drahtspule auf einer Achse leicht drehbar angebracht. In dieser Drahtspule, der „Ankerspule“, sitzen natürlich Elektronen. Denkt euch jetzt weiter, daß eine äußere Kraft — eine Dampfmaschine oder eine Turbine — die Achse, auf der die Drahtspule sitzt, bewegt. Die Spule dreht sich, und das hat die gleiche Wirkung, als wenn der Magnet sich vor der Spule hin und her bewegte. Sofort werden wir aufgeschreckt und in Bewegung gesetzt, denn wir werden ja von dem magnetischen Feld beeinflußt. Wenn sich aber Elektronen bewegen, entsteht, wie ihr wißt, ein elektrischer Strom. Der Mensch hat diese Maschine nun so eingerichtet, daß ein Teil des Stromes durch die Elektromagnetwindungen geht. Dadurch wird der Elektromagnet stärker erregt. Der größere Teil des Stromes aber wird durch Schleiffedern abgenommen und fortgeleitet. Daß durch die Verstärkung der Elektromagnete das Magnetfeld stärker wird und daß dadurch die Elektronenstörung, also die Stromstärke, ebenfalls wächst, brauche ich ja nicht erst zu sagen, wohl aber will ich betonen, daß dieses Stärkerwerden nicht in alle Ewigkeit

fortgeht, sondern daß die weitere Erregung beim Vorhandensein einer bestimmten magnetischen Kraft aufhört, weil dann genau so viel Strom verbraucht wie zugeführt wird.

Allerdings ist das erst ein rohes Bild. Die Sache geht nämlich nicht ganz so glatt, denn wir werden tatsächlich hin und her gejagt, beim Vorübergang am Südpol des Elektromagneten nach der einen Richtung, beim Vorübergang am Nordpol nach der anderen. Das wird euch klar werden, wenn ihr an die Natur des Magneten denkt. Der Magnetismus wird ja bekanntlich durch die Bewegung der um die Eisenatome kreisenden Elektronen erzeugt, und die Elektronen des magnetischen Südpols drehen sich gerade entgegengesetzt wie die des magnetischen Nordpols. Infolgedessen wirken auf uns beim Vorübergang unserer Drahtspule vor den Polen entgegengesetzte Einflüsse, und so kehrt sich unsere Bewegung jedesmal in der Mitte zwischen den beiden Polen um. Wegen dieses fortwährenden Wechsels der Stromrichtung spricht man hier von Wechselstrom. Durch eine einfache Vorrichtung an der Maschine kann man die Geschichte aber auch so einrichten, daß die Elektronen hernach trotzdem wieder alle nach einer Richtung hin marschieren, und in dem Falle spricht man dann von Gleichstrom.

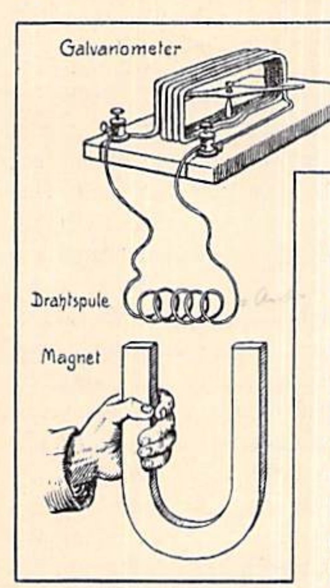


Abb. 31. Ein einer Drahtspule genäherter Dauermagnet erzeugt während der Annäherung einen elektrischen Strom.

Die Fortleitung durch Leitungsdrähte besteht wie immer darin, daß wir die in den Drähten sitzenden Elektronen in Bewegung setzen, und diese Bewegung erfolgt dann genau so wie die unsere. Nun denkt euch einmal, daß der erzeugte Strom durch eine Leitung in die Antriebsmaschine eines Straßenbahnwagens gelangt. Diese Antriebsmaschine ist genau so eingerichtet wie eine Dynamomaschine, nur nennt man sie, da sie keinen Strom, sondern aus Strom Bewegung erzeugt, „Elektromotor". Ihr könnt euch also wieder die gleichen Elektromagnete denken wie vorher, und zwischen den halbkreisförmig ausgeschnittenen Polen den drehbaren

Anker. Die Schleiffedern oder, wie ihr Menschen sie fachmännisch nennt, „Bürsten", die vorher auf der Achse den Strom abnahmen, die uns — anders gesagt — mit unseren Genossen in der Leitung verbanden, dienen jetzt dazu, den Strom zuzuführen, uns also in die Ankerspule eintreten zu lassen. Nun sagte ich euch schon, daß in der Dynamomaschine ein Teil des in der Ankerspule erzeugten Stromes zur Verstärkung der Magnetwirkung in den Elektromagneten verwendet wird. Natürlich heißt das richtig übersetzt, daß man den Elektronen, die dort durch ihre Bewegung Magnetismus erzeugen, Verstärkung in Gestalt anderer Elektronen zuführt. Beim Elektromotor ist das gleiche der Fall. Der Weg, auf dem wir über die Schleiffedern und die Ankerachse in die Ankerspule gelangen, hat einen Seitenzweig, auf dem eine Schar von uns in die Elektromagnetspulen kommen kann. Und nun haben wir das Bild zweier Elektronenscharen vor uns, von denen die eine in der Ankerspule, die andere in den Elektromagnetwicklungen sitzt, beide natürlich, da von außen immer neuer Zuzug kommt, in voller Tätigkeit, also auf vollem Marsche. Daß diese beiden Scharen sich durch die magnetischen Wirkungen, die sie hervorrufen, gegenseitig beeinflussen, ist ja klar. Diese gegenseitige Beeinflussung aber äußert sich als Drehbewegung des Ankers um seine Achse. Die Drehung der Ankerspule überträgt sich durch die Achse auf die Räder, die elektrische Bahn fährt voran.

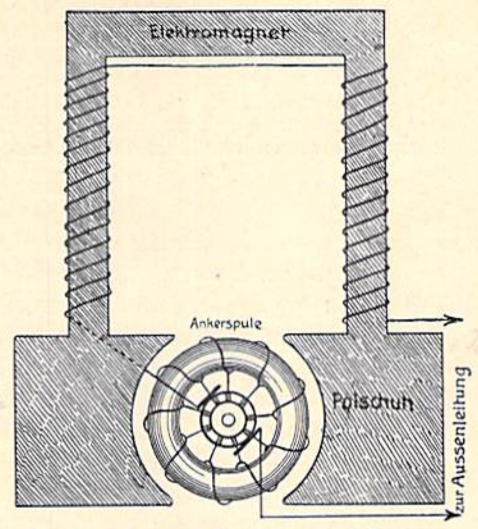


Abb. 32. Schematische Darstellung einer Dynamomaschine.

X. Kapitel.

Wir leuchten und wärmen.

Man vermutete seit langer Zeit, daß Licht und strahlende Wärme Wellen im Äther seien, aber man konnte sich kein rechtes Bild davon machen, wie diese Wellen entstanden. Erst die Entdeckung der Elektronen hat diese schwierige Frage gelöst. Das folgende Kapitel erläutert die Rolle, die die Elektronen bei der Entstehung des Lichtes und der strahlenden Wärme spielen.

Bisher habe ich immer nur von den elektrischen Strömen gesprochen, die wir Elektronen erzeugen. Unsere Brüder senden aber auch Licht und Wärme von der Sonne hernieder, und wir nehmen beides bei der Ankunft auf der Erde in Empfang. Es ist eigentlich eine sehr einfache Geschichte, um die es sich da handelt, und doch hat es Jahrhunderte gedauert, bis der Mensch sie richtig verstand. Früher hörten wir immer sagen, daß die Atome der glühenden Sonnenmaterie Wellen im Äther erzeugten, und diese Ätherwellen sollten die Atome des Erdstoffes beim Aufprallen in Schwingungen versetzen, die man Wärme und Licht nannte. Hätten die Menschen nur ein wenig über das nachgedacht, was sie da behaupteten, so würden sie gleich die Unwahrscheinlichkeit dieser Lehre empfunden haben. Wie können Stoffatome auf den Äther einwirken, wenn der Äther dem Stoff gar keinen Widerstand bietet? Daß der Äther das aber nicht tut, dafür bildet die Bewegung der Erde den besten Beweis. Da sitzt der Mensch auf dem Rücken dieses großen Planeten, den ein dünner Luftmantel umgibt und der mit ungeheurer Geschwindigkeit seine Bahn im äthergefüllten All durchfliegt. Trotz dieser großen Geschwindigkeit aber wird die Luftschicht der Erde vom Äther nicht im geringsten gestört.

Es ist zwar wahr, daß die Stoffatome bei der Entstehung der Wärme eine wichtige Rolle spielen, aber damit ist noch längst nicht gesagt, daß die Atome der Sonne die Erde direkt beeinflussen. Ich kann euch aus meiner Erfahrung heraus sogar erklären, daß das genau so unmöglich ist, wie daß der Mensch den Mond vorwärts schiebt. Nur die enge Ver-

wandtschaft, die wir Elektronen zum Äther besitzen, ermöglicht eine Verbindung der Sonne mit der Erde. Denkt euch unsere Brüder auf der glühenden Sonne in schneller Bewegung um die Atome, an die sie als Trabanten gebunden sind. Genau wie der Mond sich um die Erde dreht, so drehen sich diese Elektronen um die Atome. Ihre Bahn selbst ist dabei natürlich unmeßbar klein, die Drehungsgeschwindigkeit aber ungeheuer groß. Durch diese schnelle Bewegung entstehen die Wellen im Äther, die der Mensch Licht und Wärme nennt und die sich genau so nach allen Seiten ausbreiten wie die Wasserwellen im Teich, von denen ich früher schon sprach.

Sollte hier einer fragen, woher es denn komme, daß wir den Äther beeinflussen könnten, während den Atomen des Stoffes jede derartige Wirkung abzusprechen sei, so kann ich darauf nur die Antwort geben, daß wir eben nicht Teilchen der Materie, sondern Elektrizitätsteilchen sind und dem Äther sehr nahe stehen. Ebenso nahe aber ist auch der Stoff mit uns verwandt, und ihr tut am besten, wenn ihr uns als Bindeglieder, als Zwischenträger zwischen Äther und Stoff betrachtet, denn dann könnt ihr euch wenigstens einen ungefähren Begriff von unserer Einwirkung machen, die ich euch leider nicht näher erläutern kann. Ich darf nämlich hier nur niederschreiben, was ihr selber schon gefunden habt. Neue Wahrheiten müßt ihr Menschen stets selber entdecken, da sie euch nur dann wirklich von Wert sind.

Um das Bild zu vollenden, das ich zu zeichnen begann, habt ihr euch nur noch zu denken, daß die Elektronen um die Atome im Zickzack hin und her schwingen wie Mückenschwärme, die in der Sonne tanzen. In tausenderlei Arten von Wellen überträgt sich dieser Tanz auf den Äther, und die Ätherwellen schlagen ihre Kreise weiter bis auf die übrigen Gestirne. Auch auf unsere Erde treffen die Ätherwellen. Aber nur ein ganz winzig kleiner Teil von ihnen kommt bei uns an. Die anderen sind zum Teil verschluckt von Stäubchen und Nebeltröpfchen der Atmosphäre, zum Teil auch wieder umgewandelt in kurzwelligere, rascher schwingende Züge. Nur einen kleinen Teil dieser Wellenzüge können die Menschen mit ihren Sinnen erkennen. Einen ganz kleinen Teil, der sich auszeichnet durch sehr rasche Schwingungen (360—960 Billionen Schwingungen in der Sekunde), nennt der Mensch „Licht", und das Licht kommt von der Sonne. Auch von den Ätherwellen, die etwas langsamere Schwingungen machen, spürt der Mensch etwas, aber nicht mit dem Auge, sondern mit der Haut. Er empfindet diese Wellen, die zwischen 360 und 5 Billionen

Schwingungen in der Sekunde machen, als „strahlende Wärme". Aber daß es auch noch andere Wellen gibt, Wellen von Kilometerlänge, die im Vergleich mit den Wellen, die ihr „Licht" und „strahlende Wärme" nennt, außerordentlich langsam (50 000 Millionen bis 150 000 mal in der Sekunde) schwingen, das hat der Mensch bis in die Neuzeit hinein nicht gewußt, bis zu dem Zeitpunkt, wo er sie selbst in der drahtlosen Telegraphie erzeugte und anwendete. Ebensowenig hatte der Mensch eine Ahnung von noch viel schnelleren Wellen, wie die des „Lichtes", von Wellen, die etwa 3000 Billionen mal in der Sekunde schwingen, und die euch nur in chemischen Wirkungen bemerkbar werden. Die ultravioletten Strahlen und die Röntgenstrahlen werden durch Wellen dieser Art erzeugt.

Daraus ergibt sich schon, daß es sich weder bei der strahlenden Wärme noch beim Licht um Wellen verschiedener Art handelt, trotzdem die Menschen ihnen verschiedene Namen geben. Der einzige Unterschied liegt in der G e s c h w i n d i g k e i t, mit der sie aufeinander folgen, und daraus entsteht dann die verschiedene Wirkung auf den menschlichen Organismus. Von solchen Wirkungen will ich nun im nächsten Kapitel erzählen. Damit ihr aber vorher ein gutes Bild von den verschiedenen Wellenarten bekommt, bitte ich euch, genau die hübschen Tabellen (Abb. 33 und 34) zu studieren, die mein Dolmetsch hier eingeschaltet hat und die in klaren Worten die Merkmale, die den verschiedenen Wellen eigen sind, zusammenfassen, um sie danach zu gruppieren.

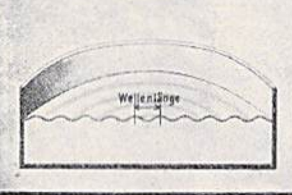
	Schallwellen	Wasserwellen
Art der Wellen	Schon im Altertum wurde erkannt, dass sich der Schall in der Luft ebenso ausbreitet, wie die Wellen im Wasser. Die Schwingungen (Stösse) des tönenden Körpers übertragen sich auf die Luft und erzeugen eine aus Verdichtung und Verdünnung bestehende Welle die sich nach allen Seiten in der Luft fortpflanzt. Treffen die Schallwellen das Ohr, so nehmen wir dieselben als Ton oder Geräusch wahr.	Am bekanntesten sind die Wasserwellen. Sie entstehen entweder dadurch, dass an einer Stelle die Wasseroberfläche in Schwankung versetzt wird (z.B. durch einen hineingeworfenen Stein) oder dadurch, dass ein grösserer Teil der Oberfläche gleichzeitig bewegt wird (z. B. durch einen Windstoss). Die einmal erregten Schwankungen des Wassers pflanzen sich fort, und so entstehen die aus Berg (Anschwellung des Wasserspiegels) und Tal (Senkung des Wasserspiegels) gebildeten Wellen.
Bild der Wellen		
Wellenlänge	Die längste dem Ohre wahrnehmbare Schallwelle ist ca 21 m. lang (Ton C_{-2}). die kürzeste dem Ohre wahrnehmbare Schallwelle ist ca 1 cm lang (Ton c_5). Zwischen diesen Grenzen liegen die Wellenlängen sämtlicher dem Ohre wahrnehmbarer Schallwellen. Grössere bezw. kleinere Luftwellen werden vom menschlichen Gehörsinn nicht mehr wahrgenommen.	Die Länge der Wasserwellen hängt von der Grösse der Oberfläche und von der Tiefe des Wassers ab. So ist z.B. die Länge der kleinsten in einem Gefäss erzeugbaren Wellen 1.7 cm. die der Wellen des Starnbergersees ca. 5 m. Sturmwellen im Ocean sind 60-120 m. Die längste von Kapitän Mottez im nördlichen Atlantik gemessene Welle ist 830 m. lang.
Schwingungszahl	Durch die Zahl der Schwingungen welche der tönende Körper und demnach auch die schwingende Luft in der Sekunde ausführen, ist die Höhe des Tones bestimmt. Je grösser die Anzahl der Schwingungen, desto höher ist der wahrgenommene Ton. Zur Erzeugung des tiefsten wahrnehmbaren Tones (C_{-2}) muss der tönende Körper 16, zur Erzeugung des höchsten (c_5) ca. 30000 Schwingungen in der Sekunde ausführen.	Während die Welle über die Oberfläche sich fortpflanzt, schwingen die einzelnen Wasserteilchen auf und ab. Die Anzahl dieser Schwingungen in der Sekunde ist für verschiedenen langen Wellen verschieden. z. B. bei 1.7 cm. Wellenlänge 14 } d.h. eine Schwingung dauert } $\frac{1}{14}$ Sek. „ 5 m. „ „ $\frac{1}{2}$ „ 2 „ „ 60-120 m. „ „ $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{8}$ „ 6 bis 8 „ „ 830 m. „ „ $\frac{1}{23}$ „ 23 „
Geschwindigkeit	Die Ausbreitung der von den tönenden Körpern erregten Schallwellen geschieht in einer gewissen Zeit. In freier Luft legen die Schallwellen einen Weg von 333 m. in der Sek. zurück, so dass ein Donner, der 20 Sek nach der Blitzerscheinung gehört wird, in 6660 m. Entfernung entstand. In Wasser ist die Schallgeschwindigkeit 1437 m. Noch grösser ist sie in fester Körpern, so z.B in Glas 5000 m. in Kupfer 3700 m. etc.	Die Geschwindigkeit, mit der sich die Wasserwellen ausbreiten, hängt ab von der Grösse der Welle, indem sich nämlich grössere Wellen schneller ausbreiten wie kleinere. So ist z. B. für eine Welle von 1.7 cm. Länge die Fortpflanzungsgeschwindigkeit 0.23 m. „ „ „ 5 m. „ „ „ „ 2 m. „ „ „ 60-120 m. „ „ „ „ 11-15 m. „ „ „ 830 m. „ „ „ „ 38 m.

Abb. 33. Wellen in gasförmigen und flüssigen Körpern zum Vergleich mit den Ätherwellen.

Entworfen, ausgeführt und ausgestellt im Deutschen Museum zu München.

In jedem gasförmigen und flüssigen Körper pflanzt sich die an einer Stelle erzeugte Erschütterung nach und nach auf die anderen Stellen des Körpers fort. Die dabei entstehenden Bewegungen (Schwingungen) des Körpers nennt man Wellen.

	Lichtwellen	Wärmewellen
Art der Wellen	Gegenüber der alten Ansicht, dass von den leuchtenden Körpern kleine Teilchen ausströmen, welche Lichterscheinungen im Auge hervorrufen, haben Hooke 1665, Huygens 1690 und Young 1802 das Licht als eine Wellenbewegung des sogenannten Äthers erkannt. Durch einen leuchtenden Körper werden Ätherteilchen in Schwingungen versetzt, die sich als eine aus Berg und Tal bestehende Welle nach allen Seiten fortpflanzen. Trifft eine Ätherwelle das Auge, so empfinden wir Licht.	Die Ätherwellen werden von den menschlichen Sinnen als Licht und als Wärme empfunden. Nach William Herschel (1800) werden nicht nur die sichtbaren Ätherwellen, sondern auch die dem Auge nicht mehr wahrnehmbaren ultraroten Wellen als Wärme empfunden. Solche unsichtbare Wärmewellen werden von warmen, dunklen Körpern ausgestrahlt. Wärmewellen, welche nicht stark genug sind, um auf den Gefühlssinn des Menschen zu wirken, können durch äusserst feine Thermometer nachgewiesen werden.
Bild der Wellen	Die Lichtwellen in hunderttausendf. Vergrosserung.	Ultrarote Wärmewellen Längste Wärmewelle in tausendf. Vergrösserung. Kürzeste ultrarote Wärmewelle in hunderttausendf. Vergr.
Wellenlänge	Die längste als Licht wahrnehmbare Ätherwelle ist nach Helmholtz 0,81 Tausendstel mm. (dunkelstes Rot). Die kürzeste Lichtwelle ist nach Soret 0,33 Tausendstel mm. (äusserstes Violett). Ätherwellen, deren Längen zwischen diesen beiden Grenzen liegen, rufen die verschiedenen Farben hervor. Die Aufeinanderfolge der Farben nach ihrer Wellenlänge geordnet: Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett nennt man Spektrum.	Die längste, durch ihre Wärmewirkung nachweisbare (ultrarote) Welle, ist nach Rubens $\frac{1}{19}$ mm. Die kürzeste (ultrarote) Wärmewelle ist 0,81 Tausendstel mm. lang (entspricht den dunkelsten Rot). Ausser den ultraroten Wellen wirken auch sämtliche sichtbaren Ätherwellen erwärmend. Das ultrarote Wärmespektrum ist jedoch etwa 50 mal so ausgedehnt, wie das sichtbare Spektrum.
Schwingungszahl	Wie die Schwingungszahl der Luftwellen die Tonhöhe, so bestimmt die Schwingungszahl des Äthers die Farbe des Lichtes. Zur Erzeugung des dunkelsten Rot muss der Äther in der Sek. ca 360 Billionen mal, des äussersten Violett ca 960 Billionen mal schwingen. Je grösser die Schwingungszahl, desto mehr verschiebt sich die Farbe im Spektrum vom Rot nach Orange, Gelb, Grün und Violett.	Die Schwingungszahl der längsten ultraroten Wärmewellen beträgt 5 Billionen in der Sekunde. Die Schwingungszahlen der unsichtbaren Wärmewellen können wir durch den Gefühlssinn bezw. durch ein Thermometer nicht unterscheiden. Zur Bestimmung derselben muss man das ultrarote Spektrum im Vergleich zum sichtbaren Spektrum ausmessen.
Geschwindigkeit	Die Ausbreitung der von einem Licht erzeugten Ätherwellen nach unserem Auge geht nicht momentan, sondern in einer gewissen Zeit vor sich. Olaf Römer bestimmte aus astronomischen Beobachtungen 1675 die Geschwindigkeit des Lichtes zu 300000 km. in der Sek. Mit dieser grossen Geschwindigkeit könnte z. B. ein Lichtstrahl in der Sekunde 7 mal die Erde umlaufen.	Die von einem warmen Körper ausgesandten Wärmestrahlen pflanzen sich mit der gleichen Geschwindigkeit (300000 km. in der Sekunde) durch die Luft fort, wie die Lichtstrahlen. Im gleichen Augenblicke, in welchem ein Licht erscheint, bezw. erlischt (wie z. B. bei einer Sonnenfinsterniss) erscheint oder verschwindet auch die Wärmestrahlung.

Abb. 34. Tabelle der

Entworfen, ausgeführt und ausgestellt

Außer den Wellen in Körpern entstehen auch Wellen im Äther, der den verdanken ihre Entstehung der Bewegung der Elektronen. Je nach ihrer chemische und elektrische

chemisch wirks. Wellen	elektrische Wellen	
Ätherwellen können nicht nur als Licht und Wärme wahrgenommen werden, sondern sie üben auch chemische Wirkungen aus, indem sie z. B. eine photographische Platte schwärzen, ferner rufen sie die Erscheinung der Fluorescenz hervor. Nach den Untersuchungen von Stokes 1852 üben jedoch nicht nur die sichtbaren Wellen chemische und Fluorescenzwirkungen aus, sondern auch die dem Auge nicht mehr wahrnehmbaren ultravioletten Strahlen.	Eine neue Art von Ätherwellen wurde im Jahre 1888 von Heinrich Hertz entdeckt. Er fand nämlich, dass sich die von einem Funken ausgehende elektrische Kraft in Gestalt von Berg und Talwellen in den Raum ausbreitet. Diese elektrischen Wellen haben mit Ausnahme der Sichtbarkeit alle Eigenschaften der gewöhnlichen Lichtwellen. Hertz wies die im Raume nach, indem er durch sie elektrische Wirkungen hervorrief die sich durch einen kleinen elektrischen Funken anzeigten.	Art der Wellen
Ultraviolette chem. wirks. Wellen. Längste ultraviolette Welle in hunderttausendf. Vergr. Wellenlänge 0,33 Tausendstel mm. Wellenlänge 0,1 Tausendstel mm. Kürzeste ultraviolette Welle in hunderttausendfacher Vergrösserung.	Elektrische Wellen Längste elektrische Welle in hunderttausendfacher Verkleinerung. Wellenlänge 2 km. Wellenlänge 6 mm. Kürzeste elektrische Welle in 1/4 natürlicher Grösse.	Bild der Wellen
Die längste chemisch wirksame ultraviolette Ätherwelle hat eine Länge von 0,33 Tausendstel mm. (entspricht dem äussersten Violett). Die kürzeste (ultraviolette) ist nach Schumann 0,1 Tausendstel mm lang. Ausser diesen unsichtbaren (ultravioletten) Strahlen üben auch sämtliche dem Auge sichtbaren Strahlen chemische Wirkungen aus.	Elektrische Wellen besitzen bedeutend grössere Länge wie Lichtwellen. Die kürzeste bisher erzeugte elektr. Welle ist nach Lebedew 6 mm lang. Die längsten, bei der drahtlosen Telegraphie verwendeten Wellen sind ca. 2 Kilometer lang. Elektrische Wellen, deren Längen zwischen diesen beiden Grenzen liegen, können durch passende Wahl des elektrischen Funkens beliebig erzeugt werden.	Wellenlänge
Die Schwingungszahl der kürzesten (ultravioletten) Welle beträgt 3000 Billionen in der Sekunde. Die Ätherteilchen schwingen demnach ca. 3 mal so schnell, wie sie schwingen müssen, um dem Auge sichtbar zu sein.	Die Schwingungszahl der kürzesten elektr. Welle (v. 6 mm Länge) ist 50000 Millionen in der Sek. d. h. der elektr. Funke schwingt zwischen den beiden Metallkugeln 50000 Millionen mal in der Sek. hin und her. Die Schwingungszahl der 2 km langen Welle ist 150000 in der Sek. Je grösser die mit den Metallkugeln verbundenen Leiterflächen, desto langsamer die Schwingung des elektr. Funkens.	Schwingungszahl
Die chemisch wirksamen unsichtbaren Strahlen pflanzen sich mit der gleichen Geschwindigkeit, wie das Licht durch den Raum fort.	Die von einem elektrischen Funken ausgehenden elektrischen Wellen pflanzen sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit durch die Luft fort. Heinrich Hertz hat diese Geschwindigkeit zuerst bestimmt und fand dieselbe gleich der Lichtgeschwindigkeit 300000 km in der Sek.	Geschwindigkeit

Wellen im Äther.

im Deutschen Museum zu München.

ganzen Weltraum erfüllt und alle Körper durchdringt. Die Ätherwellen Länge werden diese Wellen als Licht, als strahlende Wärme, sowie durch Wirkungen wahrgenommen.

XI. Kapitel.

Wie die Farben entstehen.

Das, was wir Farbe nennen, ist im Grunde nur eine Empfindung im Gehirn, die wir nach außen verlegen. Diese Gehirnempfindung wird durch Ätherwellen erzeugt, deren Urheber die Elektronen sind.

Das folgende Kapitel gibt die Erklärung dafür, daß manche Körper weiß erscheinen, andere rot, grün usw. Außerdem wird die Entstehung des künstlichen Lichtes besprochen und dabei darauf hingedeutet, welche Energieverschwendung heute noch bei der Erzeugung künstlichen Lichtes herrscht, da nur der kleinste Teil der aufgewendeten Energie in Licht umgesetzt wird, während die weitaus größte Menge hier nutzlose Wärmestrahlen verursacht.

Ich schilderte schon im letzten Abschnitt, wie wir Elektronen Wellen im Äther erzeugen, und dort erwähnte ich auch, daß das menschliche Auge nur den kleinsten Teil dieser Wellen wahrzunehmen vermag. Es handelt sich da so um eine Art mittlerer Zone, eben um die Wellenzüge, die dauernd von der Sonne strahlen und die Erde erreichen, ohne eine Veränderung erlitten zu haben oder verschluckt (absorbiert) worden zu sein. Längere Wellen kennt ihr als strahlende Wärme und kürzere als Röntgenstrahlen. Aber das sind nur kleine Gebiete, denen noch eine Vielzahl von Wellen folgt oder vorhergeht, die ultravioletten und infraroten zum Beispiel, von denen ihr vorläufig kaum etwas wißt, vielleicht auch nie mehr wissen werdet. Aber auch unter den Wellen, die ihr als „Licht" bezeichnet, herrscht durchaus keine Gleichheit. Das lehrt schon die Tatsache, daß ihr ganz verschiedenfarbenes Licht wahrnehmen könnt. Die Ursache der verschiedenen Farben ist wieder die verschiedene Geschwindigkeit, mit der die Ätherwellen aufeinanderfolgen, sind wieder *wir*, die Elektronen, die dem Äther die Stöße geben, die die Wellen erzeugen. Schwingen wir so rasch, daß unsere Stöße im Äther Wellen hervorbringen, die sich 360 Billionen mal in der Sekunde wiederholen, so sagt der Mensch, in dessen Augen diese Wellen fallen: Ich sehe „rot". Haben wir uns schneller bewegt, so daß die Ätherwellen kürzer, die Ätherschwingungen rascher geworden sind, etwa 490 Billionen mal in der Sekunde, so sagt der Mensch: Jetzt sehe ich „orange"; wenn wir noch schneller schwirren, noch kürzere Äther-

wellen aufwerfen, so nennt der Mensch diese Eindrücke je nach der Geschwindigkeit, mit der die Ätherwellen einander folgen, gelb grün, blau und violett. Treffen mehrere dieser verschiedenen Wellenarten gleichzeitig in sein Auge, so beeinflussen sie sich; es entstehen Mischungen, Zwischenfarben. Und wenn alle die verschiedenen Ätherwellen, die von der Sonne ausgehen, gleichzeitig, ohne sich getrennt zu haben, in das Auge fallen, so sagt der Mensch: Ich sehe „weiß". Wenn aber keine Wellen in sein Auge fallen, etwa in der Nacht, wo die Nachtseite der Erde von der Sonne und den Ätherwellen abgekehrt ist, oder auch am Tage, wenn die Ätherwellen durch Dinge vom Menschenauge abgehalten sind, so sagt der Mensch, er sähe nichts, es sei „schwarz" und „dunkel".

Nun werdet ihr nach dieser Erklärung wohl die Frage stellen, wie denn die verschiedenen Wellenlängen eigentlich zustande kommen, wenn wir Elektronen alle untereinander gleich sind. Die einfachste Antwort auf diese Frage wäre, daß sich eben einzelne Elektronen schneller bewegen. Aber das würde dann die neue Frage zur Folge haben, warum denn diese schnellere Bewegung geschieht. So muß ich da wohl schon ein wenig weiter ausholen, wenn ich eure Wißbegier befriedigen will.

Denkt euch einmal ein Elektron, das stets ein bestimmtes Atom umkreist und denkt noch ein zweites, das bei dem Atom eines anderen Stoffes das gleiche tut. Die Drehgeschwindigkeit beider Elektronen kann dann völlig verschieden sein, trotzdem beide Elektronen genau gleich sind. Die Drehgeschwindigkeit wird nämlich vor allem durch die Größe der Atome bestimmt: Die Elektronen drehen sich um größere Atome in viel größerer Entfernung, als sie es bei kleineren tun. Die aber, die den kleineren Kreis zu durchlaufen haben, legen ihren Weg doch in viel kürzerer Zeit zurück, d. h. sie bewegen sich viel schneller. Außerdem kommt noch die Glut der Sonne dabei in Betracht, die eine Erwärmung und dadurch eine Vergasung der Stoffe herbeiführt, d. h. die Atome voneinander trennt, die Lücken zwischen ihnen erweitert und so bei manchen Stoffen, die leichter vergasen, eine viel freiere Bewegung der Elektronen möglich macht, als bei andern. Diese einfachen Tatsachen sind die Ursachen, daß die Elektronen verschieden lange Ätherwellen, also verschiedene Eindrücke im menschlichen Auge und verschiedenartige Farbenempfindungen im menschlichen Gehirn erzeugen.

Ich bespreche diese einfachen Dinge so ausführlich, weil ich manchmal Menschen von unseren Ätherwellen als von farbigen Strahlen sprechen hörte. Das ist eine ganz dumme Bezeichnung, die durchaus keinen Sinn hat.

Nehmen wir einmal an, jene Wellen und nur solche Wellen, die bei

euch die Empfindung „rot“ erregen, würden auf einen Körper fallen, dessen Elektronen so um die Atome kreisen, daß durch ihre Schwingungen (wenn sie sie frei ausüben könnten) Ätherwellen erzeugt würden, die sich 589 Billionen mal in der Sekunde wiederholen, solche Ätherwellen also, die unserem Auge „grün“ erscheinen. Dann vermöchten die ankommenden Wellen auf diese Elektronen nicht einzuwirken, und der Gegenstand würde, obwohl er von „rotem Licht“ bestrahlt wäre, schwarz erscheinen.

Anders wird die Sache, wenn jenes Gemisch von Wellen, das in eurem Auge die Empfindung „weiß“ erregt, auf jenen Körper fällt. Dann werden die Ätherwellen, die 589 Billionen mal in der Sekunde schwingen, und nur diese die Elektronen jenes Körpers zum Mitschwingen bringen, während alle anderen keinen Einfluß ausüben. Die jetzt frei schwingenden Elektronen jenes Körpers erzeugen ihrerseits wiederum Ätherwellen von 589 Billionen Schwingungen in der Sekunde, und diese auf das menschliche Auge fallenden Wellen lassen dann den fraglichen Körper „grün“ erscheinen.

Die Entstehung des natürlichen Lichtes und der Farben ist euch dadurch wohl klar geworden. Es bleibt aber noch die weitere Frage, wie der Mensch denn künstliches Licht erzeugen kann. Gegenwärtig geht jedes derartige Verfahren darauf hinaus, einen Stoff so heiß zu machen, daß er glühend wird. Durch die Erhitzung wird nämlich eine Lockerung und Trennung der Atome herbeigeführt. Dadurch erhalten die Elektronen Platz für ihre Schwingungen, die die Ätherwellen erzeugen. Diese Ätherwellen rufen im menschlichen Auge die Empfindung des Lichtes hervor, und der Mensch sagt: Der Körper glüht und leuchtet. Aber selbst die neuesten Verbesserungen, die der Mensch da ersonnen hat, arbeiten noch sehr verschwenderisch. Ich will hier nur von der elektrischen Glühlampe sprechen, da ich mich dabei auf meine eigenen Erfahrungen stützen kann.

Wir Elektronen waren wieder einmal auf einem Marsch begriffen, zu dem uns ein Mensch zwang. Es ging von Atom zu Atom in einem Leitungsdraht. Ich hatte keine Ahnung vom Zweck dieses Marsches, stieß aber plötzlich auf Kohleatome, um die andere Elektronen in sehr lebhaften Schwinzungen schwirrten. Es war furchtbar schwer für uns, durch die Kohle, die zu einem außerordentlich dünnen Faden ausgezogen war, hindurchzukommen, und das Quetschen und Drängen der vor mir befindlichen Elektronen war die Ursache, daß die Kohleatome unter ihrem Andrang anfingen, sich voneinander zu trennen, wodurch ihre eigenen Elektronen Platz für ihre Schwingungen bekamen. Bei unseren Märschen durch Kupferdrähte ging alles viel glatter vor sich. Die Kupferatome

störten uns so wenig wie wir sie. Höchstens war das bei sehr dünnen Drähten der Fall, in denen wir uns geradezu drängen mußten. Dann bekamen auch die Kupferatome Püffe ab, die sie voneinander trennten und ihre eigenen Elektronen hin und her schwingen ließen. Diese Schwingungen wurden dem Menschen als Wärme merkbar, und er sagte, der Draht erhitze sich beim Stromdurchgang, weil er dem Strom Widerstand entgegensetze. Solange wir uns nun einen Weg durch den Kohlefaden bahnten, erhitzte sich der Kohlefaden sehr stark, und seine Elektronen erhielten immer mehr Spielraum für ihre Schwingungen, die also immer schneller wurden. Dadurch entstanden naturgemäß Ätherwellen, und zwar anfänglich langsamere (Wärmewellen), dann aber so schnell aufeinander folgende, daß sie dem Menschen in ihrer Gesamtheit als weißstrahlendes Licht sichtbar wurden.

Wieso ist aber hier der Vorwurf der Verschwendung berechtigt, den ich erhob, als ich von der Erzeugung künstlichen Lichtes zu sprechen begann? Nun, die Sache ist einfach die, daß nie alle Elektronen der Kohleatome zur Erzeugung von Lichtwellen kommen. Es bleiben Milliarden von Elektronen in jedem Kohlefaden, deren Schwingungen nur wenig beschleunigt werden. Auch sie erzeugen Ätherwellen, aber stets nur solche, die so langsam aufeinanderfolgen, daß sie der Mensch nur als Wärme, nicht als Licht empfindet. Fallen sie auf einen Gegenstand und vermögen sie bei dessen Elektronen die gleichen Schwingungen hervorzurufen, so erscheint das Ding euch Menschen warm. Die brennende Birne der Glühlampe fühlt sich ja selbst warm an. Das ist manchmal ganz angenehm. Hier bei der Glühlampe aber und überhaupt bei allen Verfahren zur Erzeugung künstlichen Lichtes ist es eine sehr unerwünschte Beigabe, die man gern missen möchte. Die Energie, die dazu verwendet wird, diese Milliarden von Elektronen in die ungewollten Wärmeschwingungen zu versetzen, geht für die Lichterzeugung einfach verloren. Natürlich ist das den Menschen nicht recht, und eure Forscher wissen auch sehr gut, daß eure Lichtquellen so verschwenderisch arbeiten, aber sie können vorderhand noch nichts daran ändern. Den besten Weg zur Abhilfe, den ihr vielleicht in der Zukunft einmal gehen lernt, weist euch ein kleines Tierchen, das Glühwürmchen, das völlig kaltes Licht produziert. Das kalte Licht muß also auch für euch die stete Sehnsucht sein. Habt ihr es gefunden, so seid ihr uns Elektronen wieder ein Stückchen näher gekommen, denn wir sind die Hüter des Geheimnisses, das es da zu enthüllen gilt, das ich aber nicht verraten darf, weil ihr aus eigenen Kräften vorwärtskommen sollt.

XII. Kapitel.

Botschaft von den Sternen.

Spektroskopie.

Im Jahre 1814 ließ Joseph v. Fraunhofer Sonnenlicht durch einen schmalen Spalt auf ein dreikantig geschliffenes Glasstück, ein Prisma, fallen. Das Sonnenlicht wurde dadurch zerlegt und erzeugte auf einem hinter dem Prisma aufgestellten weißen Schirm ein breites Farbenband, ein Spektrum, das an einem Ende rot war, um dann über orange, gelb, grün, blau und indigo in violette Farbentöne überzugehen. Fraunhofer beobachtete dieses Farbenband durch ein Fernrohr und entdeckte über 500 dunkle Linien darin, die über das ganze Spektrum unregelmäßig verteilt waren. 1823 fand Fraunhofer solche Linien auch im Spektrum des Sirius und einiger anderer Sterne.

Die Bedeutung der Entdeckung Fraunhofers wurde erst 1859 durch Rob. W. v. Bunsen und Gustav Kirchhoff erkannt. Diese Forscher fanden, daß jede verdampfbare Substanz, in eine Flamme gebracht, oder jeder glühende Dampf ein charakteristisches Spektrum hat, und daß das Spektrum deshalb ein ausgezeichnetes Mittel zum Erkennen der Stoffe ist. Als Kirchhoff im gleichen Jahre Drummondsches Kalklicht zunächst durch eine mit Natrium (dem Metall des Kochsalzes) gelb gefärbte Flamme und darauf durch ein Prisma fallen ließ, erhielt er im Spektrum an Stelle der hellen Natriumlinien zwei scharfe dunkle Striche. Daraus zog er den Schluß, daß die Fraunhoferschen Linien durch Dämpfe entstehen, die die glühende Sonne umgeben. Durch Vergleich der experimentell hergestellten Spektren irdischer Stoffe mit den Sonnenspektrum gelang es allmählich, den größten Teil der Fraunhoferschen Linien zu identifizieren, d. h. festzustellen, welche irdischen Stoffe in der Sonnenatmosphäre vorhanden sind. In gleicher Weise ermittelte man später mit Hilfe der „Spektralanalyse", wie man dieses Verfahren nannte, die Zusammensetzung vieler anderer Sterne. Festgestellt wurde dabei, daß die auf Erden vorhandenen Stoffe sich auch sonst allenthalben im All finden, natürlich nicht überall sämtliche, sondern vielfach nur zwei oder drei. Daneben wurde aber auch das Dasein von Stoffen ermittelt, die wir heute auf Erden noch nicht kennen, und die sich vielleicht bei uns gar nicht finden.

Von Sternenbotschaften möchte ich in diesem Abschnitt mit euch plaudern, von Botschaften, die ihr spät erst lesen lerntet, obwohl wir sie schon seit alter Zeit durch den Raum tragen, seit Jahrmillionen, ja, seit die Erde nur besteht. Wellen sind es im Ätherozean, die ich meine, Wellen von der Art, die der Mensch „Licht" nennt. Daß wir sie erzeugen, brauche ich euch kaum mehr zu berichten. Und auch die Art und Weise, wie diese

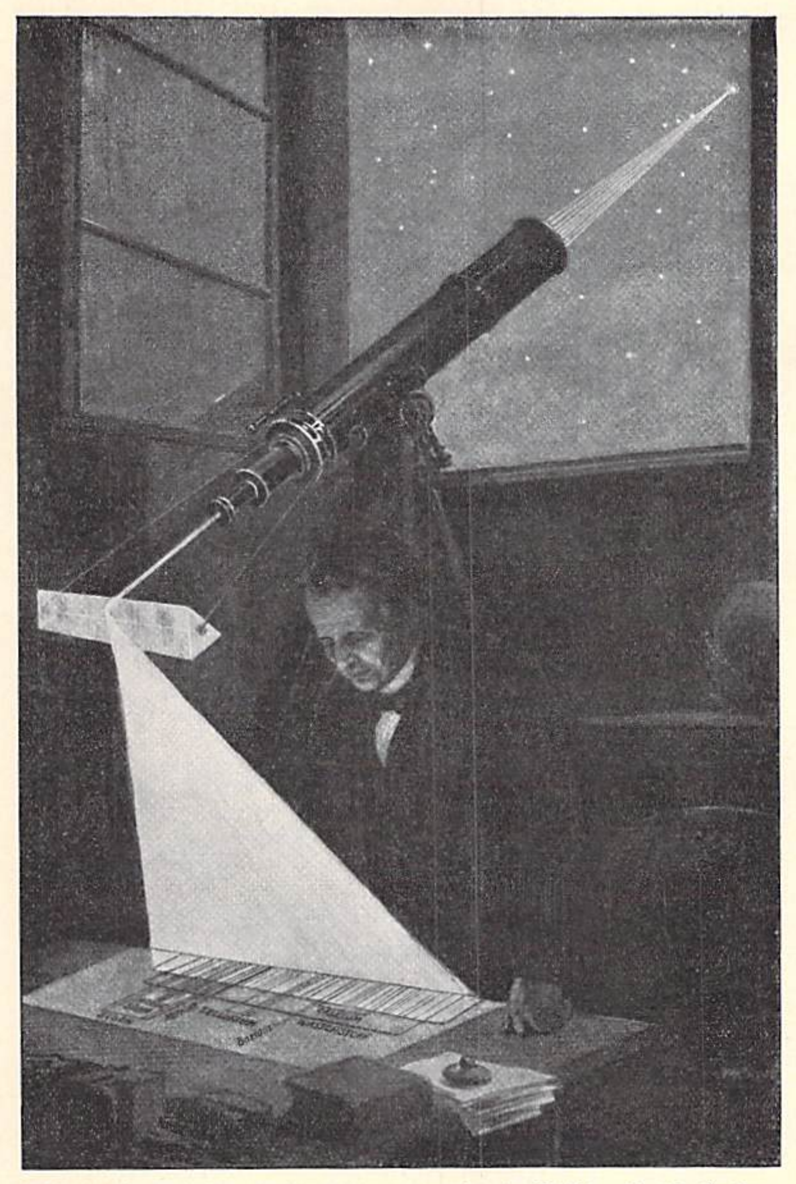


Abb. 36. Die Untersuchung der einen Stern zusammensetzenden Stoffe durch das Spektroskop

Wellen entstehen, kennt ihr ja schon. Ich will nur ganz kurz wiederholen, daß die Geschwindigkeit der um ein Atom schwingenden Elektronen vor allem von der Art und Größe des Atoms bestimmt wird, um das es sich handelt. Wenn z. B. Elektronen um ein Eisenatom schwingen, so erzeugen sie Wellen ganz bestimmter Länge, die durchaus von denen verschieden sind, die den Elektronen, die um ein Wasserstoffatom schwirren, ihren Ursprung verdanken, vorausgesetzt eben, daß beide Stoffe in Gasform sind, daß ihnen viel Energie zugeführt wird und daß die Elektronen völlig frei schwingen können. Aus dieser Verschiedenheit der Schwingungen muß man also zu erkennen vermögen, um was für Atome die Elektronen kreisen, aus welchen Stoffen die Atome bestehen. Wie aber kam der Mensch das erkennen, zumal wenn diese Drehung auf einem fernen Stern vor sich geht, der in einer klaren Sommernacht droben am Himmel funkelt? Ihr seht den Stern, aber ihr werdet nie die Länge der Wellen, die euer Auge treffen, ermitteln können. Höchstens könntet ihr das Strahlen des Sternes als „rot" empfinden oder als „gelb" und daraus ableiten, daß die Wellen länger oder kürzer sind.

Wäre der Mensch mit diesen unbestimmten Vermutungen zufrieden gewesen, so würde er nie imstande gewesen sein, unsere Berichte genau zu verstehen. Aber er sann dem Rätsel nach, das hier für ihn lag und dann erfand er ein Instrument, das ihm helfen sollte, die Sternenschrift zu entziffern (Abb. 35). Vielleicht erscheint die Anwendung etwas geheimnisvoll, im Grunde aber ist die Geschichte sehr einfach. Wenn die kurzwelligen Ätherwellen des Lichtes nämlich auf ein dreikantiges Glasstück — ein Prisma — fallen, so werden sie von ihrer normalen, geraden Bahn abgelenkt. Das wäre an sich nicht sonderbar, aber das ist noch nicht alles. Die Wellen, die die Empfindung „rot" hervorrufen, werden nicht so stark abgelenkt wie die anderen, die die Empfindungen gelb, grün, blau, indigo und violett bei euch zur Folge haben. Durch diese verschiedene Ablenkung werden die verschieden langen Wellen alle nebeneinander ausgebreitet, und sie erzeugen dann im menschlichen Auge das Bild eines farbigen Bandes, das an dem einen Ende rot, am andern violett ist, während dazwischen die übrigen Farben liegen. Der Mensch nennt dieses künstliche Farbenband ein Spektrum.

Nun werdet ihr fragen, wie es möglich sei, Lichtwellen von ihrer Bahn abzulenken. Wir Elektronen bringen auch dieses Kunststück fertig, doch ich kann euch leider jetzt nicht erzählen, wie wir das machen, denn ich müßte dazu allzuweit ausholen, und mein Dolmetsch klagt schon, daß ich seine Zeit

zu lange in Anspruch nähme. So kann ich euch für alle diese Dinge, die mit den Schwingungen des Äthers, die ihr „Licht“ nennt, zusammenhängen, für Absorption, Reflektion, Dispersion, Polarisation und viele andere Erscheinungen mit ähnlichen schönen Namen, nur auf später vertrösten, wenn wir uns vielleicht wieder einmal zusammenfinden. Hier muß ich mich auf die einfachen Tatsachen beschränken, die man zum Verständnis der Erscheinungen, die zu unserer Entdeckung führten, kennen muß, und die will ich jetzt ganz kurz an einem Beispiel erläutern.

Wenn die Ätherwellen, die von glühenden Natriumatomen ausgesendet werden, durch ein Glasprisma gehen, so schwingen die Elektronen, die zu den Natriumatomen gehören, mit einer Geschwindigkeit, daß Wellen entstehen, die im menschlichen Auge die Empfindung „gelb“ erregen. Das Spektrum des Natriums zeigt daher nur „gelb“, und zwar zwei deutliche gelbe Linien nebeneinander. Natürlich werdet ihr fragen, warum denn das Licht L i n i e n bildet? Die Antwort ist, daß die Ätherwellen bei dem Instrument, das der Mensch für diese Beobachtungen gebaut hat, durch einen schmalen senkrechten Schlitz in das Beobachtungsrohr gelangen, und dadurch wird das Aussehen der Lichtbotschaft bestimmt. Aber warum nun wieder z w e i Linien n e b e n e i n a n d e r? Weil auch die Natriumatome nicht von allen Elektronen v ö l l i g gleich umkreist werden, sondern weil da wirklich noch winzig kleine Unterschiede sind, die in der verschiedenen Schwingungsschnelligkeit der entstehenden Ätherwellen zum Ausdruck kommen. Diese Unterschiede reichen nicht aus, im menschlichen Auge verschiedene Farbenempfindungen hervorzurufen, sie werden euch nur als Abstufungen in der Farbe bemerkbar, und die kommen in dem Nebeneinander der beiden Linien zum Ausdruck.

Was ich hier vom Natrium erzählte, trifft auch bei den übrigen Stoffen zu. Jedes Element und jede Verbindung erzeugt im glühenden Zustand eine oder mehrere helle Linien in den verschiedenen Teilen des Spektrums, und der Mensch bemerkte bald, daß er diese Linien benutzen konnte, um sich über das Dasein der verschiedenen Stoffe zu unterrichten.

Jetzt wird es euch schon klar sein, was ich meinte, als ich sagte, daß wir Botschaften von den Sternen senden. Die flimmernden Sterne droben am Himmel sind große Massen glühender Gase, in denen die Elektronen lustig um die Atome tanzen. Dadurch entstehen immerfort Ätherwellen, die die Erde erreichen. Wenn sie der Mensch dann durch ein Glasprisma gehen läßt, sondern wir die einzelnen Wellenzüge und erzeugen das Farbenband. Dieses Farbenband untersucht der Mensch in einem

eigenen Apparat, in dem er die Stellung der Linien genau ermitteln kann, und aus der Stellung der Linien schließt er auf die Stoffe, die auf jenem Stern vorhanden sind. So hat er entdeckt, daß auf der Sonne unter anderem etwa 40 Stoffe vorkommen, die auch auf Erden vorhanden sind, darunter Wasserstoff, Eisen, Kupfer, Nickel und Zink als die gemeinsten.

Zum Schluß will ich noch einen einzelnen Punkt kurz erwähnen, der euch vielleicht noch wissenswert erscheint. Während wir im Spektrum irgendeines glühenden Stoffes hier auf der Erde helleuchtende Linien erzeugen, erscheinen unsere Sternenbotschaften tiefschwarz und dunkel. Der Grund dafür liegt darin, daß die glühenden Gasmassen von einem Mantel kühlerer Gase umgeben sind, und die Elektronen dieser kühleren Gase saugen die Wellen, die denselben Schwingungsmodus haben, vollständig auf. Natürlich bleiben dann leere Stellen im Spektrum, und das sind die schwarzen Linien, von denen ich sprach. Da sie die gleiche Stellung einnehmen wie die hellen, so macht das keinen Unterschied für das Entziffern der Botschaften aus.

Hier ist nun der Zeitpunkt gekommen, an dem ich berichten kann, wie wir tatsächlich von den Menschen entdeckt wurden, denn seltsamerweise hängt diese Entdeckung eng mit der Linienbildung im Spektrum zusammen. Diesen Bericht soll das nächste Kapitel enthalten.

XIII. Kapitel.

Wie der Mensch unser Dasein entdeckte.

Die in diesem Kapitel berichteten Tatsachen hängen eng mit denen zusammen, die Kapitel III erläuterte. 1883 entwickelte H. A. Lorentz in Leiden auf Grund mathematischer Berechnungen die Elektronentheorie. Den experimentellen Beweis dafür erbrachte 1895 Pieter Zeemann dadurch, daß er den Einfluß des magnetischen Feldes auf das Spektrum dampfförmiger Stoffe nachwies. Die Geschichte dieses Versuchs erzählt das Elektron hier. Zu beachten ist, daß, wenn das Elektron von einer Bewegung der Spektrallinien das Farbenband hinauf und hinunter spricht, damit eine Verschiebung gegen das violette bzw. das rote Ende des Spektrums gemeint ist.

Die Erscheinungen beim Durchgang der Elektronen durch luftleere Röhren führten 1895 zur Entdeckung der X- oder Röntgenstrahlen durch W. K. Röntgen, einen deutschen Forscher. Er fand, daß Kathodenstrahlen (also Elektronen) beim Auftreffen auf harte Stoffe (vor allem auf Glas oder Metall) neue Strahlen erzeugen, für die alle Stoffe mehr oder weniger durchlässig sind. Sie gehen leicht durch Papier, Holz, dünnes Metall, ziemlich schwer durch Blei, lassen einen mit Bariumplatinzyanür bestrichenen Papierschirm in grünlichem Lichte aufleuchten und bringen auf photographischen Platten chemische Wirkungen, also Bilder, hervor.

Ein wenig später entdeckte Röntgen, daß die X-Strahlen die Weichteile des menschlichen Körpers viel leichter durchdringen als die Knochen, so daß bei der Durchleuchtung von Körperteilen mit X-Strahlen auf dem Fluoreszenzschirm oder der photographischen Platte deutliche Schattenbilder entstehen. Über die Bedeutung, die die Röntgenstrahlen im Laufe der letzten Jahre in der Medizin gewonnen haben, kann hier naturgemäß nicht gesprochen werden. Im allgemeinen dürfte darüber auch jeder Leser ziemlich unterrichtet sein, sonst mag in dieser Hinsicht die Andeutung genügen, daß sich seit Röntgens Entdeckung ein eigener Zweig der Medizin, die Röntgentherapie, gebildet hat, die fast täglich neue Fortschritte zu verzeichnen weiß.

Die ganze Zeit über hatten wir Elektronen darauf gewartet, daß man uns endlich entdecken werde, und ihr könnt euch den Jubel vorstellen, der bei uns herrschte, als ein Forscher schließlich den unumstößlichen Beweis unseres Daseins erbrachte. Die Geschichte dieser Entdeckung ist sehr interessant, und man kann wohl sagen, daß der Mensch, der sie machte, sich damit ein glänzendes Zeugnis ausgestellt hat. Jener Forscher hatte sich überlegt, daß wir Elektronen, wenn wir wirklich um die Atome schwangen und so Ätherwellen erzeugten, in dieser Bewegung beeinflußt werden

mußten, wenn man uns irgendwie störte. Natürlich konnte der Mensch nicht selber diese Störung verursachen. Er brauchte auch dazu wieder Elektronen, die ihm Hilfe leisteten, und zwar in diesem Falle dadurch, daß sie ein kräftiges magnetisches Feld erzeugten. Dieses magnetische Feld stellte der Forscher dadurch her, daß er einen elektrischen Strom in die Windungen eines riesigen Elektromagneten schickte. Zwischen

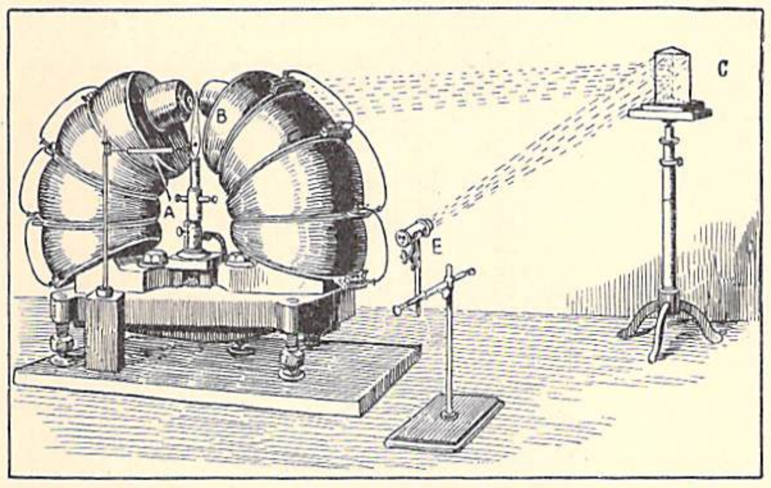


Abb. 36. Die Versuchsanordnung, die zur Entdeckung der Elektronen führte. Zwischen den Polen des großen Elektromagneten befindet sich ein gewöhnlicher Gasbrenner B. In dessen Flamme wird durch einen Platindraht A eine Perle aus Natriumsalz hineingehalten, wodurch gelbes Natriumlicht entsteht. Das Licht fällt durch einen engen Spalt auf das Prisma C, und hier entstehen die beiden hellen gelben Linien des Natriums, die man durch das Fernrohr E beobachtet. Sobald der Elektromagnet erregt wird, sieht man, daß jede der beiden Natriumlinien sich in drei nebeneinander liegende Linien zerspaltet. Die Erklärung dieser Erscheinung enthält der Text.

den Magnetpolen ließ er dann eine mit Natriumdampf gefärbte Flamme brennen, deren Licht durch ein Prisma und ein Fernrohr in das Auge des Beobachters fiel (Abb. 36). Die Natriumflamme erzeugt im Spektrum zwei eng beieinanderstehende gelbe Linien, die dem unbewaffneten Auge wie eine einzige erscheinen. In diesen zwei Linien gibt sich kund, daß die Natriumflamme Licht von zwei etwas verschiedenen Wellenlängen aussendet. Auf die Linien richtete der Forscher seine ganze Aufmerksamkeit. Er merkte sich sorgfältig ihre genaue Stellung im Spektrum und setzte dann den Elektromagneten in Tätigkeit. Im gleichen Augenblick wurde das vorausgesagte Ergebnis erzielt: jede der beiden Linien wurde

in drei dünnere zerspalten, die gegen die ursprüngliche Stellung etwas nach oben und unten verschoben waren. Es kam das dadurch, daß einige der Elektronen, die durch ihre Schwingungen die ursprünglichen Linien erzeugten, durch die magnetische Beeinflussung ihre Drehungsgeschwindigkeit stark erhöhten. Bei einer zweiten Gruppe war die Zunahme der Geschwindigkeit geringer, und bei der dritten verlangsamte sie sich gar stark.

Sobald der Forscher den Elektromagneten wieder ausschaltete, hörte auch die Beeinflussung auf, und die ursprünglichen Einzellinien erschienen wieder. Dadurch war bewiesen, daß tatsächlich das Licht auf elektrischen Vorgängen beruht, und daß die Ätherschwingungen durch Schwingungen von Elektronen hervorgerufen werden. Dieser Beweis hatte dann wieder andere Entdeckungen im Gefolge, von denen ich nur die der sogenannten X-Strahlen noch erwähnen will.

Ich befand mich wieder einmal in einer luftleeren Röhre und wurde mit einer Menge meiner Kameraden vorwärts gedrängt. Natürlich erwartete ich, durch die Röhre geschleudert zu werden, wie mir das ja früher schon häufig geschehen war. Aber es kam anders, und ich war nicht im mindesten darauf vorbereitet. Das Gedränge wurde so stark, daß wir losspringen mußten, und wir sausten gerade mit unserer üblichen Schnelligkeit durch die Leere, als wir plötzlich, so etwa in der Röhrenmitte, auf eine Metallplatte stießen (Abb. 37). Angenehm war die Geschichte nicht, das könnt ihr euch denken. Da bemerkte ich plötzlich, daß dieser heftige Aufprall eine ganz seltsame Wirkung auf den Äther hatte. Wir kümmerten uns nicht viel darum, wie man diese Störung etwa nennen könnte, aber der Mensch muß immer einen Namen für alles haben, und so sprach er hier von X-Strahlen, die da neu entstanden. Er hatte ganz recht, ein X zur Bezeichnung zu wählen, denn so nennt er ja alle unbekannten Größen in seinen Rechnungen. Und er weiß bis heute noch nicht, wie diese X-Strahlen oder Röntgenstrahlen, wie er sie auch nennt, eigentlich zustande kommen. Natürlich hat er es nicht unterlassen, einen Erklärungsversuch zu machen, der behauptet, daß der Äther in der Röhre durch den Anprall der Elektronen an die Metallplatte fortwährenden Stößen ausgesetzt sei. Diese Stöße, die sich durch den Äther fortpflanzen, sollen dann die Wirkungen der X-Strahlen erzeugen. Da ich mich hier aber, wie ich schon sagte, nur über Dinge äußern darf, die ihr selbst bereits entdeckt habt, kann ich über die Richtigkeit dieser Erklärung kein Urteil abgeben.

Ich muß eingestehen, daß ich zwar damals gleich die als Röntgenstrahlen bezeichnete Ätherstörung bemerkte, daß ich aber anfänglich kein

besonderes Gewicht darauf legte, bis ich auf einmal feststellte, daß die Forscher sie immer wieder zu erzeugen suchten, und zwar zu einem ganz besonderen Zweck. Man hatte entdeckt, daß diese Strahlen durch viele feste Massen drangen, durch Stoffe, die für Lichtwellen völlig undurchlässig waren. Als wir nämlich einmal in einem dunkeln Zimmer diese Strahlen ausschickten, die — nebenbei bemerkt — im Auge des Menschen keine Empfindung hervorrufen, fielen einige der unsichtbaren Strahlen auf eine Schicht kleiner Kristalle einer chemischen Verbindung, von Bariumplatinzyanür, das auf die Oberfläche eines Schirmes gestrichen war.

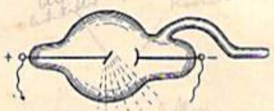


Abb. 37. Die Entstehung der Röntgenstrahlen. Die Abbildung stellt die einfachste Form einer luftleeren Röntgenröhre (X-Strahlenröhre) dar. Der Elektronenstrom geht von der hohlspiegelartig geformten, mit — bezeichneten Platte (der Kathode) in der Röhre aus, die mit dem Konduktor der Elektrisiermaschine verbunden ist. Die Elektronen springen hinüber auf die mit der Erde verbundene schräg gestellte + Platte (der Anode), werden durch den heftigen Anprall plötzlich angehalten und erzeugen dadurch vermutlich eine Art Aufspritzen im Äther, das ganz kleine Wellen zur Folge hat, die durch die Strahlen angedeutet sind. Diese Wellen nennen wir Röntgenstrahlen; sie sind unsichtbar und durchdringen alle Stoffe mehr oder minder gut.

Die Elektronen, die an den Kristallatomen hingen, wurden dadurch in ihrer Bewegung gestört. Unter dem Einfluß der X-Strahlen riefen sie im Äther andere Wellen hervor, von denen manche die Schwingungen machten, die auf das menschliche Auge wirken. Der Mensch wußte, daß der Schirm von selber kein Licht erzeugen konnte. So war es augenscheinlich, daß die Elektronen in der luftleeren Röhre das Aufleuchten des Schirmes verursachten. An diesen Versuchen nahmen wir zuerst nur flüchtiges Interesse, bis wir plötzlich hörten, daß Ärzte die neuen Strahlen benutzten. Von da ab paßten wir sehr gut auf, denn wir merkten, daß hier wieder eine Gelegenheit war, dem Menschen zu nutzen. Eines meiner Erlebnisse mit den X-Strahlen im Dienste der Ärzte ist ganz interessant. Ein junges Mädchen hatte sich beim Spielen einen Eisensplitter in die Hand gestoßen, und zwar so tief, daß man von außen nicht merken konnte, wo der Splitter saß. Gleich nahm der Arzt die X-Strahlen zu Hilfe, setzte die Röhre in Tätigkeit und schob die Hand zwischen Röhre und Schirm. Das Fleisch durchdrangen die Strahlen sehr leicht, die Knochen etwas weniger gut, und der Splitter hinderte sie außerordentlich. So entstand auf dem Schirm ein Bild der Hand in ihren Umrißlinien, in dem die Knochen als dunkle Schatten und der Splitter als tiefschwarzer Strich sichtbar war. Der Arzt sah also genau, wo der Splitter steckte, und es war ihm hernach leicht, ihn zu entfernen. Später

mußten wir häufig diese Strahlen erzeugen, um Kugeln im Fleisch sichtbar zu machen oder die Art eines Knochenbruchs zu zeigen und was derartige Dinge mehr sind. So verdanken uns viele Operationen ihren glücklichen Verlauf, und der Mensch hat wohl alle Ursache, uns auch für diese Dienste dankbar zu sein.

Natürlich versuchte man dann auch bald, das erzeugte Bild mit Hilfe der photographischen Platte festzuhalten. Es war völlig gleichgültig, ob der Mensch dabei die Platte nur in schwarzes Papier einschlug oder ob er sie in einen Holzkasten, eine Kassette, legte. Diese schützenden Hüllen boten den X-Strahlen kein Hindernis, und so konnte man dauernde Schattenbilder jedes Gegenstandes erhalten, den man zwischen die Röhre und die Platte brachte.

Zwei meiner frühesten Erlebnisse mit X-Strahlen will ich hier auch noch wiedergeben, da sie euch eine neue Seite dieser Tätigkeit enthüllen. Es war in einer Gesellschaft reicher Leute, denen ein Forscher die neuen Strahlen anscheinend zur Unterhaltung vorführte. Eine sehr hübsche Dame legte die Hand zwischen die Röhre und den Fluoreszenzschirm, und es entstand sofort ein scharfes Bild ihrer Handknochen und der vielen Ringe, die sie trug. Mehrere dieser Ringe waren mit prächtigen Brillanten besetzt; und als die Dame wegging, hörte ich, wie einer der Herren zu dem experimentierenden Forscher sagte, ob er die wundervollen Steine gesehen habe. Der aber lachte hellauf und erwiderte, daß alle diese Steine falsch seien. Echte Brillanten würden von den X-Strahlen leicht durchdrungen, diese Steine aber hätten schwere schwarze Schatten gegeben und seien also unecht.

Mein zweites Erlebnis war noch eigenartiger. Die Röhre stand neben einem Gegenstand, den die Menschen „Mumie" nannten. Man wollte wohl die Fußknochen photographieren, denn man verdunkelte das Zimmer und schob zunächst den Fluoreszenzschirm vor, um die Lage dieser Knochen festzustellen. Anscheinend war aber der, der die Versuche leitete, mit der Handhabung der Röhre nicht recht vertraut, denn es wollte kein Bild auf dem Schirm zustande kommen. Der Besitzer der Mumie lief ganz aufgeregt herum. Er schien zu glauben, man habe ihn mit der Mumie angeschmiert, und sie enthielte gar keine Knochen. Dann aber gelang es, den Apparat in Ordnung zu bringen, und nun entstanden wunderschöne scharfe Bilder, die wir auch auf photographischen Platten festhielten.

Aus der späteren Zeit könnte ich noch zahllose ähnliche Dinge berichten, aber mein Dolmetsch mahnt mich zum Aufhören. So will ich